

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL TAŞ KESMEDE KULLANILAN ELMAS TAKIMLARIN SERBEST
SİNERLENMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekin SELVİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL TAŞ KESMEDE KULLANILAN ELMAS TAKIMLARIN SERBEST
SİNERLENMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ekin SELVİ
(506111412)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111412 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ekin SELVİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ **Doğal Taş Kesmede Kullanılan Elmas Takımların Serbest Sinterlenmesi ve Karakterizasyonu** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. S. Can KURNAZ**
Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **07 Haziran 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, yardımını ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, çalışma anlayışını örnek aldığım değerli tez danışmanım Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI' ya sonsuz minnettarlığımı sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında her türlü cihazın kullanımı konusunda bana yardımcı olan Arş. Gör. Y. Müh. Onur MEYDANOĞLU'na, Araş. Gör. Faiz MUHAFFEL'e ve Arş. Gör. Y. Müh. Onur TAZEGÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma süresince numunelerimin hazırlanmasını sağlayan HARTEK Ltd. Şti. yetkililerine de teşekkür borçluyum.

Beni yetiştiren, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni ben yapan sevgili aileme en büyük teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

Haziran 2013

Ekin Selvi
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. ELMAS TELLİ BLOK KESME TEKNOLOJİSİ.....	3
2.1 Doğal Taş Ocağının Kesime Hazırlanması ve Kesme İşlemi	6
2.1.1 Deliklerin delinmesi	6
2.1.2 Elmas boncuklu telin kesime alınması	9
2.1.3 Doğal taş kütlelerinin kesimi	9
2.2 Elmas Boncuklu Tel İle Blok Kesiminde Kullanılan Bazı Yardımcı	13
Ekipmanlar	13
2.2.1 Hidrolik krikö	13
2.2.2 Hava ve hidrolik metal yastıklar.....	15
2.3 Elmas Telli Kesme Makinası	16
2.4 Elmas Boncuklu Teli Oluşturan Parçalar	18
3. ELMAS SEÇİMİ.....	21
3.1 Elmas Tipi	21
3.2 Elmas Tane Boyutu	24
3.3 Elmas Konsantrasyonu	26
3.4 Elmas Kaplama.....	26
4. MATRİS SEÇİMİ	29
4.1 Kobalt Tozları.....	31
5. ELMAS TAKIMLARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	35
5.1 Elmas Boncukların Üretimi.....	36
5.2 Toz Metalurjisiyle Parça Üretimi	39
5.2.1 Sinterleme	42
5.3.1 Tozların hazırlanması	54
5.3.2 Matris-elmas karışımının hazırlanması	55
5.3.3 Soğuk presleme	55
5.3.4 Sıcak presleme.....	56
5.3.5 Sinterleme.....	58
5.3.6 Spark plazma sinterleme.....	59
5.3.7 Sıcak izostatik presleme	60
5.3.8 İnfiltrasyon	60
5.3.9 Lehimleme	61
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	63
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	65

7.1 Sem Görüntüleri	65
7.2 Yoğunluk Ölçümü Sonuçları	65
7.3 Boyut Değişimi	66
7.4 Sertlik Ölçümü Sonuçları	67
7.5 Basma Testi Sonuçları	68
7.6 XRD Sonuçları	68
7.7 Optik Mikroskop Görüntüleri	68
8. GENEL DEĞERLENDİRMELER	71
KAYNAKLAR.....	73

KISALTMALAR

EDS	: Taramalı Elektron Mikroskopu
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HSP	: Hekzagonal Sıkı Paket
OM	: Optik Mikroskop
SEM	: Enerji Dispersif Spektrometresi
TM	: Toz Metalurjisi
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
XRD	: X-ışınları Difraktometresi
SPS	: Spark Plazma Sinterleme
CS	: Geleneksel Sinterleme

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Malzeme türüne göre kullanılması gereken elmas tane boyları.	26
Çizelge 3.2 : Kırık yüzey alanındaki (cm ²) toplam elmas ve oluşan elmas boşluk... sayısı.	27
Çizelge 4.1 : Ticari kobalt tozları ve özellikleri.	33
Çizelge 5.1 : Elmas boncuk tiplerinin kesme hızı ve ömürlerinin karşılaştırılması. .	39
Çizelge 5.2 : Sinterleme mekanizmaları.	44
Çizelge 5.3 : Sinterlemenin aşamaları.	45
Çizelge 5.4 : Sıvı faz sinterlemesinde daralma ve genişlemeye etki eden faktörler..	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kablo kesme operasyonunun sabit makine üzerinde gösterimi.	4
Şekil 2.2 : Elmas telli kesme yönteminin doğaltaş blok yüzeyinde yanal şematik görünümü.	5
Şekil 2.3 : Yarma ve kanal/cep açılarak ikinci ve üçüncü serbest yüzeylerin oluşturulması.	6
Şekil 2.4 : Elmas telli kesme yöntemiyle doğaltaş blok üretim safhalarının gösterimi.	7
Şekil 2.5 : Düşey deliklerin delinmesi.	8
Şekil 2.6 : Elmas tel üzerine etkiyen kuvvetler.	10
Şekil 2.7 : Elmas telin iş parçası üzerinde ilerlemesi.	10
Şekil 2.8 : Elmas telli kesme makinasıyla farklı yön ve açılarda doğaltaş bloğunun kesimi.	11
Şekil 2.9 : Verimli bir kesimde elmas boncuklu telin 6,5 m x 6,0 m boyutlu doğaltaş blok üzerinde bıraktığı izlerin grafiklerle gösterilişi.	12
Şekil 2.10 : Metal taşlamanın kademeleri.	13
Şekil 2.11 : Hidrolik krik ekipmanı ve parçaları.	14
Şekil 2.12 : Telli kesme makinası ile kesilmiş olan kütle ile ana kayaç arasına krik yerleştirilerek kütlelerin ana kayaçtan ayrılması ve devrilmesi.	14
Şekil 2.13 : Kesilen kütleyi ana kayaçtan ayıran hava yastığı.	15
Şekil 2.14 : Doğaltaş ocaklarında kullanılan hidrolik metal yastıklar.	16
Şekil 2.15 : Elmas telli kesme makinası ve makinayı oluşturan parçalar.	17
Şekil 2.16 : Kasnak üzerine monte edilen plastik yapılmış kaplama.	18
Şekil 2.17 : Elmas boncuklu telin dizilimi ve parçaları.	18
Şekil 3.1 : Doğal elmas aşındırıcılar (a) girintili yüzey ve (b) yuvarlak yüzey.	22
Şekil 3.2 : Katalist olarak (a) kobalt bazlı alaşım ve (b) nikel bazlı alaşım kullanılarak üretilmiş sentetik elmas aşındırıcılar.	23
Şekil 3.3 : Çeşitli sentetik elmas morfolojileri ve numerik kodları.	24
Şekil 3.4 : Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki.	25
Şekil 3.5 : Tane boyutuna bağlı olarak elmasın darbe dayanımı.	25
Şekil 3.6 : Kaplanmış elmas taneleri a) titanyum karbür kaplı elmas taneleri b) ilave nikel kaplaması yapılmış elmas taneleri.	27
Şekil 5.1 : Elmas tozu ve elmas taneciğinin boncuk üzerinde görüntüsü.	36
Şekil 5.2 : Elektrolitik kaplamalı elmas boncuk.	37
Şekil 5.3 : Sinterize elmas boncuk ve tipik kesit görünümü.	38
Şekil 5.4 : Elmas boncukların kesme pozisyonları.	39
Şekil 5.5 : T/M yöntemiyle parça üretiminde akış diyagramı.	41
Şekil 5.6 : Tozların birbirine kenetlenmesi ve gözenek morfolojisinin değişimi.	44
Şekil 5.7 : Sinterleme aşamalarında tozlar arası bağlanmanın gelişimi ve sinterleme sırasındaki yapısal değişiklikler a) gevşek toz b) ilk aşama c) orta aşama d) son aşama.	46
Şekil 5.8 : Sinterleme işlemi çeşitleri.	46

Şekil 5.9 : Sinterleme esnasında, katı-hal malzeme taşınımı sonucu, boyun teşekkülü ile tozların kenetlenmesi.....	47
Şekil 5.10 : Sıvı faz sinterlemesinin aşamaları.	48
Şekil 5.11 : Sinterleme aşamalarının zamanla ilişkisi.	49
Şekil 5.12 : Sıvı faz sinterlemesinin aşamaları ve farklı sıcaklıklarda yoğunluğun değişimi.....	50
Şekil 5.13 : Sıvı faz sinterlemesinde boyunlu yapının oluşması.	51
Şekil 5.14 : Temas açısının etkisi.	52
Şekil 5.15 : Çözünürlük faktörlerinin sinterleme davranışına etkisi.	53
Şekil 5.16 : Toz metalurjisi ile elmas kesici uç üretimi.....	55
Şekil 5.17 : Uygulanan kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi.	55
Şekil 5.18 : Presleme makineleri.	56
Şekil 5.19 : Doğrudan ısıtma tekniği. 1. Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri, 3. Preslenecek malzeme, 4. Grafit elektrot, 5. Bronz plaka, 6. Bakır elektrot, 7. Güç kaynağı.	57
Şekil 5.20 : Sıcak presleme işleminin şematik gösterimi.	58
Şekil 5.21 : Sıcak presleme sırasında yapılan kontrollerin izlenimi.....	59
Şekil 5.22 : Spark plazma sinterleme sistemi.	60
Şekil 5.23 : Kalıbın kesit görünüşü.....	61
Şekil 7.1 : 1 saatte değişik sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri.	65
Şekil 7.2 : 950 °C'de farklı sürelerde sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri...	66
Şekil 7.3 : (a) Yoğunluğun bir saat boyunca sıcaklıkla değişimi, (b) Yoğunluğun 950 °C'de süreyle değişimi.	66
Şekil 7.4 : (a) Sinterleme sıcaklığına göre hacimsel değişim, (b) Sinterleme süresine göre hacimde değişim.....	67
Şekil 7.5 : (a) Farklı sıcaklıklarda 1 saatte sinterlenmiş numunelerin sertlikleri (b) Sertliğin zamana göre değişimi.	67
Şekil 7.6 : (a) 1 saatte değişik sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin basma dayanımları, (b) 950°C'de farklı sürelerde sinterlenmiş numunelerin basma dayanımları.....	68
Şekil 7.7 : (a) SPS ve (b) Geleneksel sinterlenmiş numunelerin XRD analizleri.....	69
Şekil 7.8 : (a) SPS yöntemiyle, (b) 950 °C/1 saat ve (c) 1050 °C/1 saatte sinterlenmiş numunenin optik mikroskop görüntüleri.	69

DOĞAL TAŞ KESMEDE KULLANILAN ELMAS TAKIMLARIN SERBEST SİNERLENMESİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Elmas yüksek sertliğinden dolayı delme, kesme, parlatma, taşlama uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Doğal taş kesme bu uygulamalardan biridir. Mermer, Granit, Traverten gibi doğal taşların kesilmesinde elmas takviyeli metal matrisli kompozit kullanılır. Bu kompozitler düz testere, dairesel testere ve elmas boncuk olmak üzere 3 çeşittir. Elmas boncuklar maliyetinin düşük ve performansının yüksek olması nedeniyle yaygın olarak kullanılır.

Elmas boncuklar 8 mm iç çap, 10 mm dış çap ve 10 mm uzunluğa sahip silindirik şeklinde kesicilerdir. 8 mm dış çaplı ve 5 mm iç çaplı çelik yüzüğe kaynaklanırlar. Bu çelik yüzüklerden 5 mm çaplı çelik halat geçer. Bu çelik halatlar kasnakta birleştirilerek kasnağın hareketiyle dönerek takımın kesmesini sağlar. Halatlar bu dönme hareketi esnasında taşıyıcı görevi görür. Elmas boncuklar birbirlerine yaylarla bağlanır. Yaylar halatı darbelerden korur ayrıca boncukların sağa sola hareketini önler. Kesme işleminden önce x, y, z eksenlerinde delik delinir. x ve y eksenlerinde kesme işlemi gerçekleşirken z ekseninden su verilir. Kesme sırasında kayaçla ilk elmas temas eder ve kayacı aşındırır. Kopan talaş parçacıkları matrisi aşındırır. Kesme sırasında matris ve elmas paralel hızda aşınmalıdır. Matris hızlı aşınırsa elmas ömründen önce kopar. Elmas daha hızlı aşınırsa matris içine gömülür ve kesme işlemini gerçekleştiremez.

Elmas takımlarda elmasla aynı hızda aşınması, güçlü arayüzey oluşturmaları ve sertliği nedeniyle en yaygın kullanılan matris Co'dur. Fakat Co'nun stratejik ve pahalı olmasından dolayı matriste kobalt miktarı azaltılmalıdır. Co'nun yerine Ni, Fe, Ti, W, Cu, Sn, Zn gibi elementler kullanılabilir. Fakat hiçbirisi Co'nun performansını gösteremezler. Bronz veya Pirinçin ergimesiyle matriste boşluklar doldurulur. Co, Ni, Fe, Ti, W matrisleri bağlayıcı elementlerdir. Bu elementler elması tutarken elmas kesme işlemini gerçekleştirir.

Takımda sentetik veya doğal elmas kullanılabilir. Doğal elmasın bozunma ve aşınma direnci, bağ mukavemeti sentetik elmasa göre daha yüksektir. Fakat pahalı ve stratejik olması nedeniyle kullanımı pek yaygın değildir. Maliyeti düşürmek ve performansı yükseltmek amacıyla sentetik ve doğal elmas bir arada kullanılır. Sentetik elmasın bozunma direncini yükseltmek ve aşınma direncini artırmak amacıyla kaplama yapılır. Fakat doğal elmasın performansını gösteremezler. Kaplama malzemesi olarak Ti, V, W, Si, Cr gibi metaller kullanılır. Ayrıca WC, SiC gibi seramik malzemelerde kullanılabilir. Sentetik elmasın kaplaması elmas-metal arayüzey mukavemetini artırır. Ayrıca kaplama elmasın daha çok çıkıntı yapmasını sağlar. Aşınma direnci ve bağlanma mukavemeti nedeniyle kübik-oktahedral elmas kullanılır. Elmas miktarı kayacın sertliğine göre 10 konsantrasyonla 50 konsantrasyon arasında değişir. Elmas boyutu kayacın sertliğine göre 100 U.S. Mesh ile 500 U.S. Mesh arasında değişir.

Elmas miktarı ve boyutu arasındaki oran matrisin yapısını bozmamak için iyi ayarlanmalıdır.

Elmas Boncukların Elektrokaplama, Lehimleme ve Toz Metalurjisi olmak üzere 3 çeşit üretim yöntemi vardır. Elektrokaplama ve Lehimleme yöntemlerinde kesme hızı daha yüksektir fakat ömürleri kısadır. Bu yüzden acil üretim istenen uygulamalarda kullanılırlar. Daha uzun ömürlü olması ve yüksek hızları nedeniyle en yaygın üretim yöntemi Toz Metalurjisi yöntemidir. Toz Metalurjisinde metal ve elmas homojen şekilde karıştırıldıktan sonra kalıba konup preslenir. Presleme işleminden sonra tozların birbirine kenetlenmesi için sinterleme işlemi yapılır. Sinterleme işlemi basınçlı ve basınçsız olmak üzere ikiye ayrılır. Çalışmamın amacı basınçlı (SPS) ve basınçsız (CS) sinterlenmiş elmas kompozitlerin mekanik, fiziksel, yapısal ve mikroyapısal olarak karşılaştırmaktır.

%65 Co, %3 Ni, %32 Bronz, 20 Konsantrasyon elmas içeren karışım toz karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra kalıba konup soğuk preslenmiştir. Elde edilen yaş numunelerin bir kısmına 850⁰C/10 dk da SPS yapılmıştır. Diğer kısmına ise değişik sıcaklıklarda (950, 1050 ve 1150⁰C) ve sürelerde (60, 120, 180 ve 240 dk) CS yapılmıştır. Farklı yöntemlerle sinterlenmiş bu numunelere fiziksel (yoğunluk), mekanik (basma, sertlik), yapısal (XRD) ve mikroyapısal (SEM, OM) testler uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Arşimed yöntemiyle yoğunluk değerleri, 1 mm/dk hızla basma testi yapılarak basma mukavemetleri, Rockwell B yöntemiyle sertlik değerleri bulunmuştur. Mikroyapıları karşılaştırmak için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve Optik Mikroskop kullanılmıştır. Farklı yöntemlerle sinterlenmiş numunelerin fazlarını belirlemek için X Işını Difraksiyonu (XRD) yöntemi kullanılmıştır.

Serbest sinterlemede sıcaklık arttıkça sertliğin, yoğunluğun ve bununla birlikte basma mukavemetinin düştüğü gözlenmiştir. Sürenin artmasıyla fiziksel ve mekanik özelliklerde artma görülmüştür. Fakat 240 dk da mekanik ve fiziksel özellikler düşmeye başlamıştır. Bunun nedeni tane büyümesidir. Serbest sinterlemede en iyi fiziksel ve mekanik özellikler 950⁰C/180 dk da elde edilmiştir. Fakat CS ile üretilen malzemdeki özellikler SPS ile üretilen malzemedeki özelliklere göre oldukça düşüktür. XRD analizine göre her iki yöntemde de aynı fazlar ortaya çıkmıştır. Fakat sıcaklık ve süre arttıkça saf Co fazının azaldığı görülmektedir.

CONVENTIONAL SINTERING AND CHARACTERIZATION OF CUTTING TOOLS USED IN NATURAL STONE CUTTING

SUMMARY

Diamond has wide usage because of their high hardness such as cutting, drilling, polishing, and grinding. Natural stone cutting is one of these applications. Diamond is reinforced to metal matrix and forms metal based diamond doped composite. These composites are used in cutting natural stones such as marble, granite, travertine, metal and concrete. There 3 type of natural stone cutting tools such as Circular Saw, Frame Saw, Diamond Beads. Diamond Beads are the best of others because of their low cost and high performance. Diamond beads' inner diameter is 5 mm, outer diameter is 10 mm and height is 10 mm. Diamond bead combines to steel ring thorough which steel rope turning diamond beads enters.

Before cutting prosses, hole is drilled and diamond beads are passed through this hole. Diamond bead cuts natural stone by turning in this hole. Hole has three axis such as x, y, z. Cutting process occurs in x and y axis and z axis cause water entrance. These water cause removal of chips and prevent heating of tool. Natural stones are cut by wearing. As a result of wearing ruptured chips wear matrix. During cutting process firstly diamond wear, then ruptured chips wear matrices. Wear rate of matrices and diamond must be equal. If matrix wear rate is higher than diamonds' wear rate, diamond ruptures from matrix. If diamond wear rate is higher than matrix wear rate, diamond is embedded into matrix. Therefore, Co is used commonly in matrix because of its optimum wear rate.

Objective of matrix during cutting is to hold diamond. Therefore, there must be high bonding strength between diamond and matrix. Co is commonly used in metal matrix because of its high bonding strength with diamond, optimum wear rate, and toughness. However, because they are expensive and strategic, amount of this materials is decreased. Materials can be used such as Ti, Fe, Cu, Sn, Ni, W instead of cobalt but they can not show performance of Co. Alloy of Cu-Sn and/or Cu-Zn can be used for filling voids. Moreover, matrix must not contain impurity and inclusion. Otherwise, bonding and condensing can not occur.

There are three type of production method such as electroplating, brazing and powder metallurgy. Powder metallurgy is the most common method because of forming new diamond grains due to wearing of matrix. Diamond particules accumulate on surface in brazing and electroplating method. Therefore, new diamond grains can not be formed because ruptured chips can not wear matrix. However, Brazing and electroplating is appropriate for production requiring urgency. Moreover, due to not forming of new diamond grains life of tools produced by brazing and electroplating is the most short. Finally, tools produced by powder metallurgy method has the most long life but has the low cutting rate.

In powder metallurgy, firstly matrix powder is mixed homogenously. Then, diamonds are added to metal powders and mixed homogenously. Mixing process can

occur in stainless steel cap rotating 360° in x,y,z axis. Then, powders are cold pressed. Powders cold pressed is called green body. Sintering process comes after cold pressing. Conventional Sintering (CS) and Spark Plasma Sintering (SPS) are the most common sintering in diamond tool production. In every sintering method atoms diffuse to voids thus condensation and bonding occur. In hot pressing method (SPS), with the effect of pressure and current, sintering rate and condensation is higher than CS method. Insufficient sintering time and temperature cause insufficient bonding and low condensation. Moreover, inhomogeneous distribution of powders cause high wear rate during cutting process.

Cubic-Octohedral structure diamond is used commonly in natural stone cutting tools because of high wear resistance and high bonding strength. Grain size of diamond varies to hardness of stones. As hardness of stone increases, grain size of diamond increases. However, excessive increasing of grain size damages structure of matrix. Grain size of diamond changes from 100 U.S. Mesh to 500 U.S. Mesh. If hardness stone increases, amount of diamond must increase. Amount of diamond changes from 10 concentration to 50 concentration (100 concentration is equal to 4.4 carats per cm^3) (1 carat is equal to 0.2 gr). If amount of diamond increases excessively, structure of diamond is spoiled. There are two kind of diamond such as natural and synthetic. Natural diamond has high wear and degrading resistance than synthetic diamond. However, they have higher cost than synthetic diamond. Therefore, synthetic diamond which is film coated can be used for higher performance and lower cost. However, they can not show performance of natural diamond. Materials such as Ti, W, Si, Cr, V, TiC, WC can be used as coating film. Coating films can increase resistance of degradation, bonding strength and wear resistance. Moreover, films on synthetic diamond can increase protrusion height.

Aim of this study is to compare mechanical, physical, microstructural properties of diamond cutting tools made of 20 concentration diamond and Co-Ni-Cu-Sn matrix, produced by Spark Plasma Sintering and Conventional Sintering. Spark Plasma Sintering performed at 850°C and Conventional Sintering performed at various temperatures (between 950 and 1150°C) and times (1 to 4 hours). Then various properties (density, hardness, compression strength) of Conventional Sintered and Spark Plasma Sintered tools were investigated and compared. Moreover, optimum time and temperature for conventional sintering were investigated.

Powder mixture containing Co-Ni-Cu-Sn is mixed in 3 dimensional mixer. Then, $0,176 \text{ g/cm}^3$ diamond powder added to metal powder mixture. The powder mixture is compacted with cold press. Green body are prepared in dimensions of 11 mm in diameter and 32 mm in length. Samples which are produced with spark plasma sintering are held at 850°C during 10 minutes. However, Conventional Sintering method is performed at various temperatures (950 , 1050 and 1150°C) for 60 minutes and different sintering times (60, 120, 180 and 240 min) are applied for temperature of 950°C .

Microstructural investigations obtained by scanning electron microscope (SEM) and Optical Microscope (OM) of samples which were sintered at different temperatures (950 , 1050 and 1150°C) for sixty minutes and samples which were sintered at 950°C during different sintering times (60, 120, 180 and 240 min.) were shown in this study. During the liquid phase sintering process bronze alloy melt and spread to voids. By the effect of this mechanism, bronze alloy forms porosities at its original place. Therefore, porosity concentration will increase with the increasing of

temperature. Different coloured regions observed in SEM images of the samples show different phases. According to the energy dispersive spectroscopy (EDS) analyses, white phase contains more bronze elements (Cu and Sn), grey phase contains more cobalt than the other elements and black regions represent the porosities in the microstructure.

Densities of samples which are conventionally sintered at different temperatures and different sintering times at 950 °C were investigated in this study. In the case of sintering temperature, it is understood that the highest density is obtained for sintering temperature of 950 °C. The density of samples decreases with increasing of sintering temperature, because of the increasing of liquid phase pressure during the sintering process. The amount of porosity increases with the increasing of sintering temperature due to the increasing of liquid phase pressure during sintering. When we examine the density results with respect to sintering time, the density of the samples sintered at 950 °C increases with increasing of the sintering time up to 180 min. The density of sample which is produced with SPS method is 8.41 g/cm³. For all the cases of CS samples, the density value of SPS sample cannot be reached by CS method.

As a result of sintering, the volume of the samples decreased with the increase of sintering temperature from 950 °C to 1050 °C and volume reduction decreased by the increasing of sintering temperature. However, the sample sintered at 1150 °C showed volume increase, probably due to porosity increase. Furthermore, the volume of the samples was not significantly affected by the sintering time at 950 °C. After sintering, distortion and some surface microcracks were observed at CS Samples. These defects increased with increasing of temperature due to inhomogeneous distribution of liquid phase.

Hardness of the samples negatively affected by the increasing of sintering temperature and these result are compatible to the density values of the samples. For different sintering times, the hardness values of the samples sintered at 950 °C slightly increased with increasing of sintering time up to 180 min. Longer sintering time caused a slight decrease in hardness, probably due to grain coarsening. The highest hardness value (73 HRB) was obtained at 950°C with sintering time of 180 min., but this hardness value still significantly lower than the hardness of the SPS sample (101 HRB).

The highest compressive strength was obtained at sintering temperature of 1050 °C, but the highest yield strength was obtained at 950 °C. However, the compressive and yield strengths of the samples sintered at 950 °C increased with increasing of sintering times up to 180 minutes, but slight strength reduction was observed at a longer sintering time of 240 minutes. The highest compressive strength value obtained from CS samples was 900 MPa which was lower than that of SPS sample (1350 MPa). From all of the measured properties, the optimum sintering temperature and time were determined as 950 °C and 180 min. respectively.

According to XRD analysis, The same phases were observed on samples which are sintered with different techniques. The phases observed on both SPS and CS spectrums are mainly solid solutions of present elements in the composition (CuSn, CuNi and CoCu), only one intermetallic phase (Co₃Sn₂) and pure cobalt. Another important observation on XRD patterns is that the peak intensities of pure cobalt on CS samples are smaller than that of SPS sample probably due to lower process temperature and time of SPS technique

In conclusion, for Conventional Sintering, the optimum sintering temperature and time are 950 °C and 3 hours. According to XRD mainly the same phases are observed in CS and SPS samples. SPS method is better production method than CS method from every respect.

1. GİRİŞ

Elmaslar kesme, delme, parlatma, taşlama uygulamalarında kullanılır. Doğal taş kesimi bu uygulamalardan biridir. Bu takımlarda elmas tozları matrise gömülmüştür. Dairesel testere, düz testere ve elmas boncuk olmak üzere bu takımlar 3 çeşittir. Elmas boncuklar yüksek performansı ve düşük maliyeti yönünden bu takımlar içinde en iyisidir. Elmas boncuk elmas katkılı metal matrisli kompozittir. Elmas parçacıkları matrise fiziksel ve mekanik olarak bağlanırlar.

Kobalt optimum aşınma oranı, sertlik ve toklukları nedeniyle en yaygın kullanılan matris malzemesidir. Ayrıca, kobalt elmas parçacıklarıyla güçlü bir arayüzey oluşturur. Fakat kobalt pahalı ve stratejik bir element olduğundan Fe, Ni, Ti, W gibi malzemeler kobaltın yerine kullanılırlar.

Boncukta Kübik oktohedral elmas kullanılır ve elmas miktarı 10 ve 50 konsantrasyon arasında değişir (100 konsantrasyon 4.4 karat/cm^3 e eşittir). Elmasın sentetik ve doğal olmak üzere iki çeşidi vardır. Doğal elmas sentetik elmasa göre daha iyi kesme performansı ve bozunma direnci gösterir fakat pahalıdır. Bu yüzden, doğal ve sentetik elmaslar kayda değer maliyet ve performans sağlamak için elmas takımında kullanılırlar. Ayrıca elmas partikülleri kesme performansını ve bozunma direncini artırmak için Ti, Cr, Si, W ve V ile kaplanırlar.

Elmas takımlar elektrokaplama, lehimleme ve toz metalurjisi olmak üzere 3 şekilde üretilirler. Toz metalurjisi ile üretilen takımlar yüksek servis ömrü nedeniyle daha çok tercih edilirler. Basınçlı sinterleme, Geleneksel sinterlemeye göre daha kısa sürede ve daha düşük sıcaklıklarda bağlanma ve yoğunlaşma sağlar. Spark Plazma Sinterleme (SPS) sinterleme boyunca grafit kalıba doğru akım vererek ısınma oranını artıran bir basınçlı sinterleme yöntemidir fakat pahalıdır.

Bu çalışmanın amacı geleneksel sinterleme için optimum sıcaklık ve süreyi belirlemek ve SPS yöntemiyle elde edilmiş elmas boncukların mekanik, fiziksel, yapısal ve mikroyapısal özelliklerini karşılaştırmaktır.

2. ELMAS TELLİ BLOK KESME TEKNOLOJİSİ

Helezonik telli kesme sistemindeki problemlerin çözümünde en uygun aşındırıcının elmas olduğuna karar veren araştırmacılar, elmas boncuk yapısı oluşturma düşüncesini ilk defa 1968-1969 yıllarında değerlendirmişlerdir. Burada, helezonik çelik tel ile doğal taş kesmedeki dezavantajlar sonucunda “helezonik telli kesme sistemi” içinde, yay ile bağlanan, üzerinde elmaslar bulunan ‘boncuk’ yapısı oluşturma düşüncesi değerlendirilmiş ve böylece gerdanlık gibi, elmasın üstün özellikleri ile telin esneklik özellikleri birleştirilerek taş içinde etkin bir kesici ortam oluşturulması düşüncesi ortaya atılmıştır. Bu düşünce üzerine yapılan çalışmalar sonucu elmas boncuklu tel ile kesme ekipmanları ocaklarda doğal taş kesimi için denenmiş, ancak büyük çekme ve eğilme gerilmelerine maruz kalan tellerin mekanik dirençlerinde sorunlar çıkmıştır [1].

Karbonat kökenli doğal taş blok üretim yöntemlerinden doğal taş ocaklarının yaklaşık %90’ından fazlasında kullanılan en yaygın üretim teknolojisi elmas telli kesme yöntemidir [1].

Elmas telin çalışma esası; kesilecek yüzeylerde düşey ve yatay olarak açılan iki delikten geçirilen elmas telin makinenin volanından (tamburundan) geçirilerek iki ucunun birleştirilmesi ve motor tarafından volanın hareketiyle elmas telin kayacı kesmesidir. Kesme işlemini sağlayan gergi kuvveti, elmas tel kesme makinesinin bir ray üzerinde geriye hareketi ile sağlanmaktadır [1].

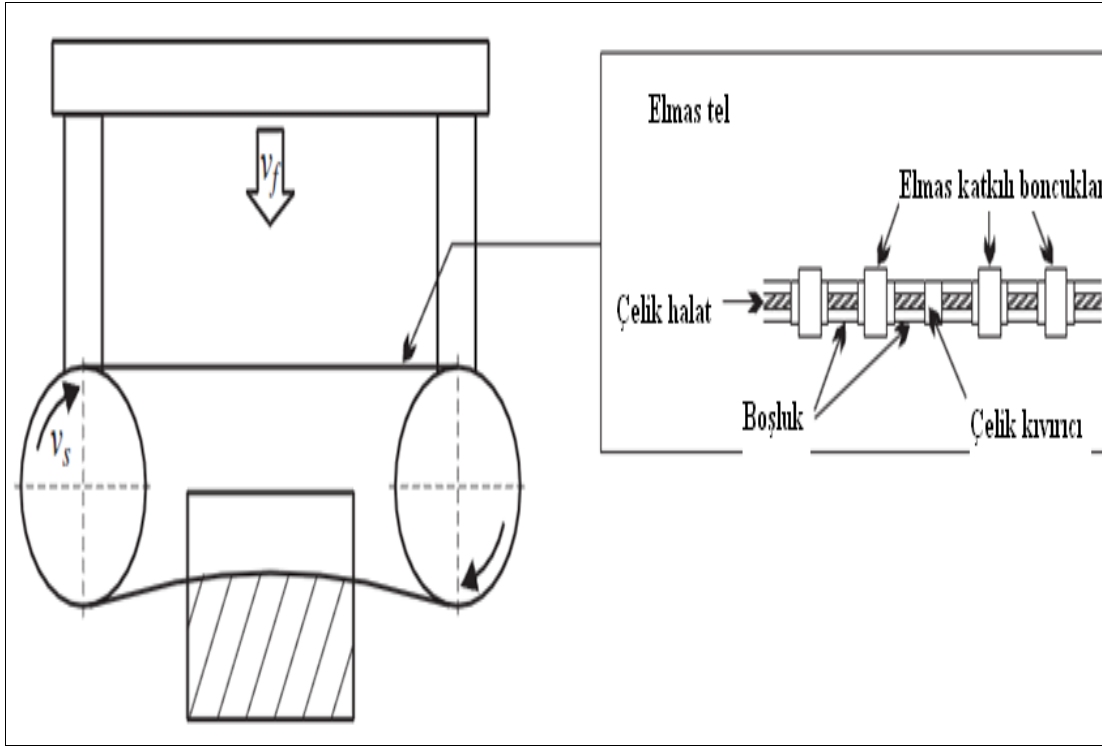
Şematik görünümü **Şekil 2.1**’de verilen elmas telli kesme yöntemi; elmas boncuklar, çelik tel, elmas telli kesme makinası ve yardımcı makine ve ekipmanlar yardımıyla, doğal taş ocaklarında blok doğal taş kesmek ve kesilen blokları nakledilebilir büyüklükteki bloklara parçalamak amacıyla kullanılan modern bir üretim yöntemi ve blok kesme teknolojisidir [1].

Elmas tel klasik taş çıkarma aletlerinden biridir. Çok sayıda kesme uygulamalarına uygunluğu, gelişmiş kesme yüzeyi düzgünlüğü, azaltılmış ses ve titreşimi nedeniyle taş ve beton kesme uygulamalarında kullanılır. Metalik bağlı diğer aletlerin aksine,

tel testerede elmas boncuklar paslanmaz çelik elmas tel üzerine belli aralıklarda dizilmişlerdir. Kesme işlemi ön gerilmeli kablo testereyi iş parçasına iterek gerçekleştirilir. (Şekil 2.2) [2]

Elmas telli kesme yöntemi genel olarak ;

- Doğal taş madenciliği ve dekoratif kesimlerde,



Şekil 2.1 : Kablo kesme operasyonunun sabit makine üzerinde gösterimi [2].

- İnşaat temel yapılarının, tren yolu köprülerinin, eski beton bacaların, baraj bentlerinin kesilerek kaldırılmalarında,
- Çelik yapı/boru kesimlerinde,

başarı ile kullanılmaktadır [1].

Elmas telli kesme yönteminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir [1];

- Her türlü yer altı ve yerüstü yapıların kesiminde kullanılabilmesi,
- Başka yöntemlerle birlikte kullanılabilen esnek bir yöntem olması,
- Doğal taş madenciliğinde büyük boyutlu kesimlerin yapılabilmesine olanak sağlaması (200 m² 'den büyük),
- İlk yatırım maliyetlerinin düşük olması,
- Makine ve ekipmanın kendini amorti etme süresinin daha kısa olması,
- Daha az toz ve artık oluşturması,

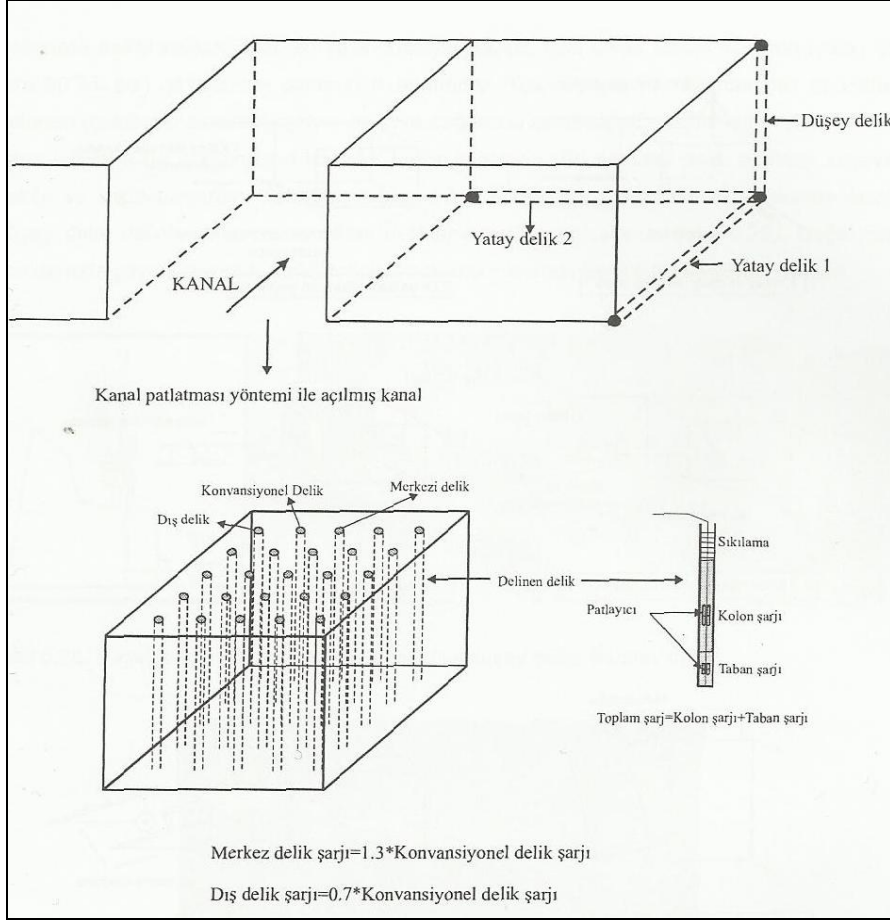
- Daha az kayıpla daha düzgün blok üretimine olanak sağlaması ve bloğa hasar vermemesi,
- İş yoğunluğu diğer yöntemlerden daha az olduğundan, iş gücünün daha verimli kullanılmasına imkan tanınması,
- Yüksek kesme hızlarında üretim kapasitesini artırmanın mümkün olması,
- İşletme maliyetinin diğer yöntemlere göre karbonat kökenli doğal taşlarda çok düşük olması,

Şekil 2.2 : Elmas telli kesme yönteminin doğal taş blok yüzeyinde yanal şematik görünümü [1].

Bununla birlikte elmas telli kesme yöntemi, her tür doğal taş ocağı için uygun olmayabilir. Özellikle çatlak ve eklemlerinden açılarak çıkartılan doğal taş kütlelerinin bloklara bölünmesi, elmas telli kesme yönteminin kullanılmasından daha ekonomiktir. Elmas telli kesme yöntemi, çatlak ve eklemleri az, masif yapıdaki doğal taşlar için uygun bir yöntemdir [1].

Elmas telli kesme makinaları ile doğal taş blok kesim işlemlerinde temel aşamalar genel olarak dört ana başlık altında toplanabilir; (**Şekil 2.3 ve 2.4**) [1]

1. Yatay ve düşey deliklerin delinmesi,
2. Elmas boncuklu tel ile yatay ve düşey kesimlerin gerçekleştirilmesi,
3. Kesimi yapılan doğal taş bloklarının ana kayaktan ayrılması ve ötelenmesi,
4. Blok boyutlandırılması ve ebatlanması,



Şekil 2.3 : Yarma ve kanal/cep açılarak ikinci ve üçüncü serbest yüzeylerin oluşturulması [1].

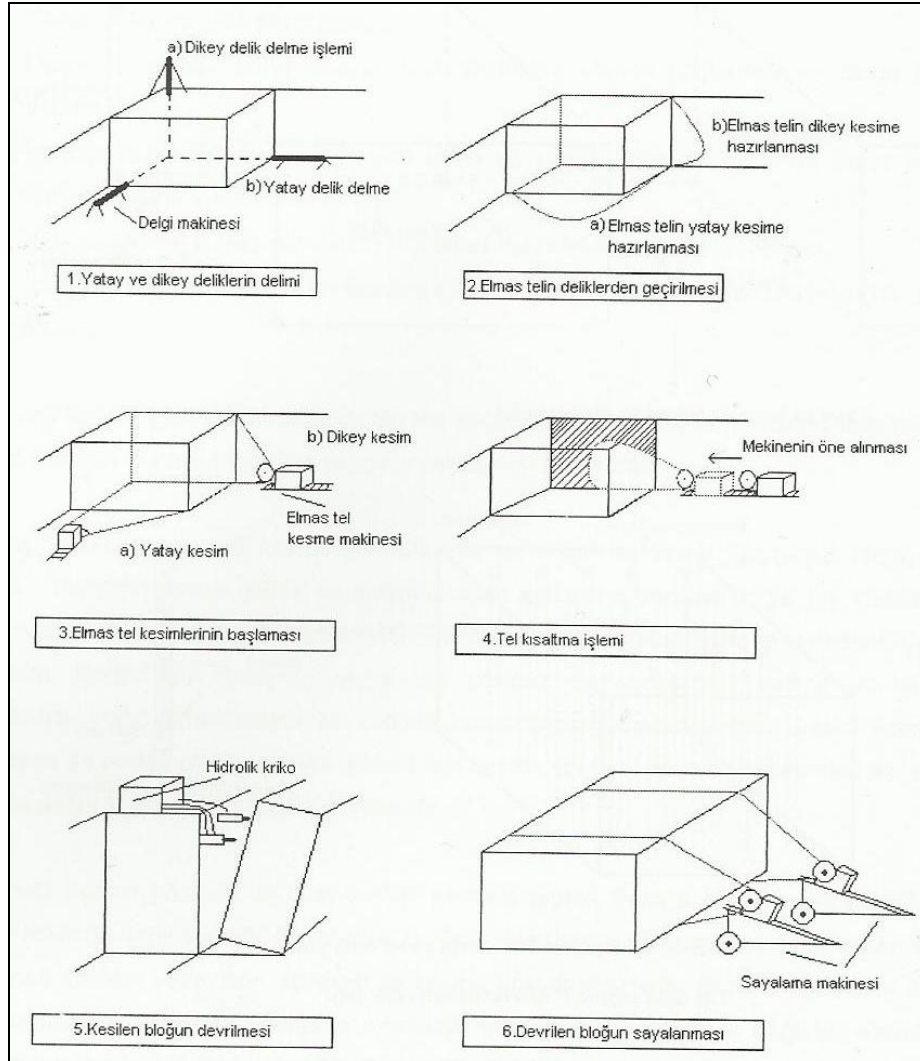
Elmas boncuklu telin soğutulması ve kesilen kayaç parçacıklarının kesim yatağından uzaklaştırılması için tel dönme yönünde tele su verilir. Genel olarak kullanılan suyun miktarı 25-40 lt/dak arasında değişmektedir [1].

2.1 Doğal Taş Ocağının Kesime Hazırlanması ve Kesme İşlemi

2.1.1 Deliklerin delinmesi

Elmas boncuklu telin kesilecek taşta konulabilmesi için birbirleri ile irtibatlı yatay ve dikey deliklerin açılabilmesi gerekmektedir (**Şekil 2.5**). Bu ise motor güçleri 7,5-25 kW arasında değişebilen delici makinalar yardımıyla mümkün olmaktadır. Delme makinası delik delinecek nokta saptandıktan sonra noktaya getirilir. Tam dikey olacak konuma (yatay ile tam 90^0 'lık açı) getirildikten sonra dört tarafından özel ve

üzerinde ayarlanabilir aparatlar bulunan (çektirme) zincirler yardımı ile yere sağlamca sabitlenir [1].



Şekil 2.4 : Elmas telli kesme yöntemiyle doğaltaş blok üretim safhalarının gösterimi [1].

Bu sabitlenme işlemlerinde kaya kütlesi içine çakılan özel kamalar kullanılmaktadır. Bu kamalar delik kayaya çakılır ve sağlamlaştırılır. Genellikle açılan bu deliklerin çapı 9 cm'dir. Bu sistemde önce düşey delik delinir, daha sonra yatay delikler bu deliğe hizalanır. Doğal taş ocaklarında yaygın olarak kullanılan tipik bir delik delme makinası **Şekil 2.5**'de görülmektedir [1]. Kullanılan delik delme makinaları döner/darbe hareketli, pnömatik veya hidrolik sistemle çalışmaktadır. Dönerli sistem daha ucuz olup, su ile çalışmakta ve delme hızı da düşük olmaktadır (1-2 m/saat). Darbeli sistem basınçlı hava ile çalışmaktadır. Dönerli sistemden daha pahalı olmasına karşın delme hızı yüksektir (8-10 m/saat). Bu tür delicilerde, delik delme işlemi sırasında sapma olmaması, özellikle uzun deliklerde büyük avantaj

sağlamaktadır. Dönerli sistemlerde karotiyer eklenip, delici uç elmas kron ile değiştirilerek hem delme hızı artırılır (3-6 m/saat) hem de karotlu sığ sondaj yapılabilir [1].



Şekil 2.5 : Düşey deliklerin delinmesi [1].

Delik delme makinası ile delinen iki deliğin çakışmasını sağlamak için, lazer, teodolit, su terazisi ve bar şakul gibi çeşitli yardımcı aletler kullanılır. Ancak ülkemizde genellikle gerek ucuz gerekse ocakta pratik kullanılması nedeniyle şakul kullanılmaktadır. Buna göre açılmış dikey delikten, açılacak yatay delik noktasına doğru, kesim yüzeyinin üst kısmından gergin bir ip çekilir. Bu ipin üst kesiminden bir veya iki şakullü ip sarkıtılarak yatay delik noktası bulunmuş olur. Her iki deliğin dik olması telli kesme çalışmalarını kolaylaştırır. Ocakta tüm çalışmalara rağmen, kesilen kütle içindeki olası jeolojik değişikliklerden (toprak dolgulu çatlaklar, farklı sertlikteki nodüler, karstik boşluklar vs.), sondaj makinasından (eskimiş olması, şakülden kaymış olması vs.) veya bu makinanın kullanımından dolayı deliklerde sapmalar olabilir. Bu nedenle delme işlemi sonrası delikler kontrol edilmelidir. Bunun en kolay yöntemi, aydınlatılmış deliğin üstünden bakıldığında delik dibinin görünüyorsa olmasıdır. Eğer delmede sapma varsa delik dibi yerine delik duvarları görünecektir. Deliklerin arasındaki mesafe aynadan çıkartılacak en büyük doğal taş kütlelerinin kesimine imkan tanıyacak uzunlukta olmalıdır [1].

2.1.2 Elmas boncuklu telin kesime alınması

Hafif bir malzemeye (örneğin pamuk top, çaput) bağlanan elmas boncuklu tel, gereken delikten basınçlı hava ile iletilen hafif malzemenin diğer delikten çıkarılması yolu ile geçirilebilir. Basınçlı hava ile iletilen malzeme diğer uçtan çıkmazsa bir kanca yardımı ile çekilip çıkarılabilir. Doğal taş kütlesine konulacak telin boyu (TB) [1];

$$TB = 2L + 3H \quad (2.1)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada L, kesilecek kütlenin uzunluğu; H ise yüksekliğidir.

2.1.3 Doğal taş kütlesinin kesimi

Takım performansı için önemli olan elmas boncukların ipin üzerinde sabit kalması ve iş parçasının tamamında üniform olarak aşınmasıdır. Bu yüzden tel çentikte serbestçe hareket edebilmeli fakat elmas boncuk tel üzerinde hareket etmemelidir. Endüstriyel uygulamada doğru kesim yöntemini seçmek tatmin edici sonuçlar doğurur fakat sürekli çevrim oluşturmada önce yapılan ön burkma ve doğru elmas boncuk tasarımı elmasın üniform aşınması açısından önemlidir [2].

Dairesel ve çerçeve testerele kıyasla kablo testerelelerin belirgin şekli yoktur ve tamamen esnektir. Maksimum talaş kalınlığını veren eşitlik [2]

$$H_{\max} = v_f L_3 / v_s \quad (2.2)$$

Burada v_s lineer kablo hızıdır.

Taş ocağı tipi cihazlarda kesim alanının uzunluk ve şekli zamana göre değişir $h_{\max}$ hesaplanamaz [2].

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi tek kesim noktasına uygulanan kuvvetler birbirine eşittir. Küçük değerdeki α için normal elmas yükleme kuvveti [2]:

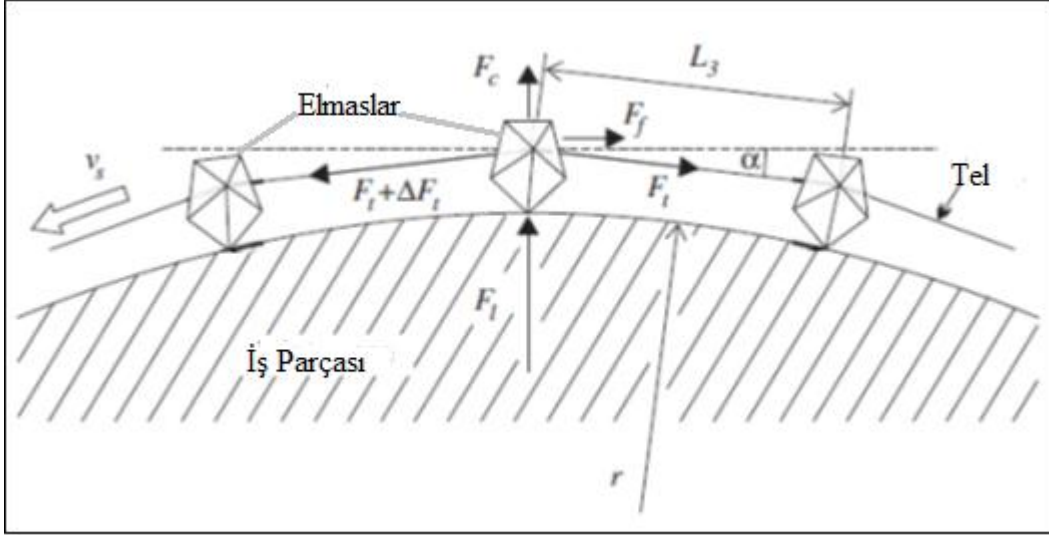
$$F_1 = 2F_t \sin(\alpha) - F_c \quad (2.3)$$

F_t ip gerilme kuvveti ve F_c santrifüj kuvvetidir [2].

$$F_c = m_L L_3 V_s^2 / r, \sin(\alpha) = L_3 / 2r \quad (2.4)$$

m_L telin birim hacmi, r kesme alanının yarıçapıdır [2].

$$\text{Buna göre yükleme kuvveti [2] : } F_1 = (F_t - m_L V_s^2) L_3 / r \quad (2.5)$$

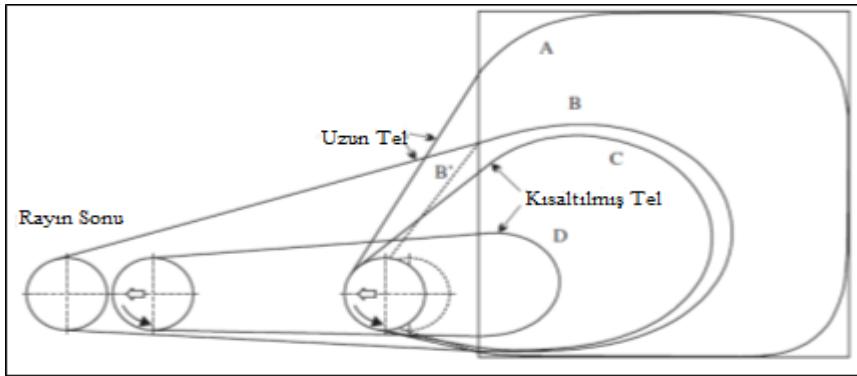


Şekil 2.6 : Elmas tel üzerine etkiyen kuvvetler [2].

Yükleme kuvvetinin elmas penetrasyon derinliğine çok büyük etkisi vardır. Bu yüzden yukarıdaki eşitlik operasyonel değişkenler sabit olduğunda talaş kalınlığının yüklem kuvvetine bağlı olduğunu söyler [2].

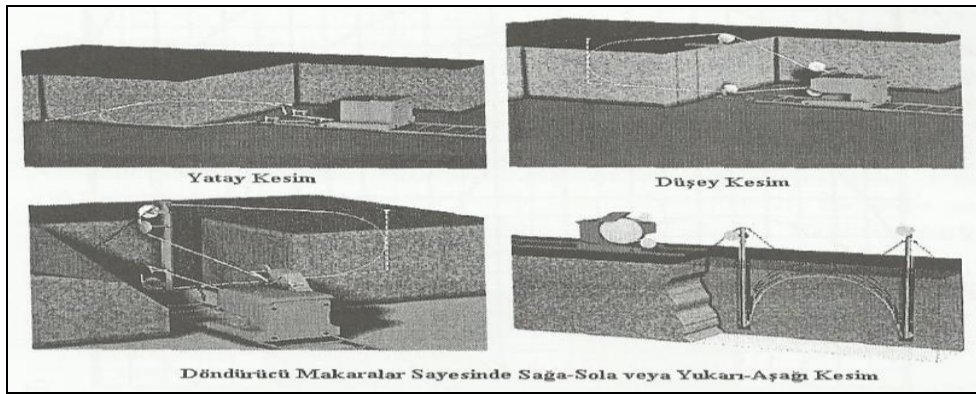
Şekil 2.7'de belirtildiği gibi kablo köşede keskin biçimde eğilir (A) fakat proses ilerledikçe daha düzgün şekil alır (B). Tel taşıyıcısı makaranın sonuna ulaşmadıkça kesim tamamlanmaz. Bu tel kısaltmalı ve ip kesme alanına girdiği ve çıktığı anda (B') doğrusal hareketinden sapmalıdır. Kablo çevrimi düzleştikten (C) sonra yarıçapı (D) artar [2].

Kesme alanının diziliminin kompleks ve zamana bağımlı olmasından dolayı kesme alanı boyunca talaş kalınlığını ölçmenin bir yolu yoktur. Bilgisayar simülasyonları kesme mekanizmalarına daha detaylı bakmamızı sağlamıştır. İlk sonuçlar umut verici olsa da nümerik modellemeler hala değişkenlikten ve boncuk kompozisyon ve testere dizaynı konusunda optimizasyondan uzaktır [2].



Şekil 2.7 : Elmas telin iş parçası üzerinde ilerlemesi [2].

Elmas telli kesme makinası, makinanın kasnağı ile doğal taşın içinde elmas boncuklu telin geçtiği delik çıkışı aynı doğru üzerinde gelecek şekilde yerleştirilir. Makine aynadan en az 3 m uzağa yerleştirilir. Raylar mutlaka aynı seviyede ve yatay olmalıdır. Elmas boncuklu tel doğal taş kütesine ve kesme makinasına koşulup iki ucu bağlandıktan sonra, kıvrımlar düzelecek şekilde gerilir. Elmas boncuklu telin yoluna alışması ve telin özellikle deliklerin birleştiği noktalardaki keskin dönüşleri düzeltebilmesi için 5-10 dakika tele fazla yük bindirmeden makine çalıştırılır. Köşelerde telin kırılmaması için makaralar kullanılır. Elmas telli kesme makinası farklı yönlerde kesim yapabilir [1]. (**Şekil 2.8**)

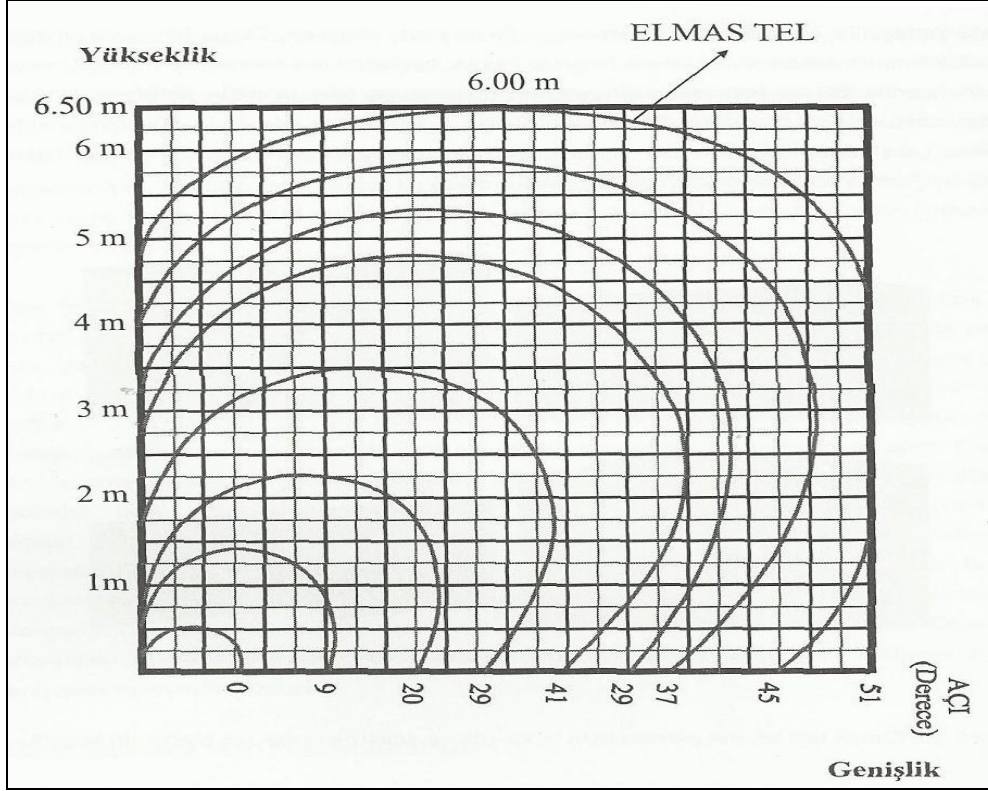


Şekil 2.8 : Elmas telli kesme makinasıyla farklı yön ve açılarda doğaltaş bloğunun kesimi [1].

Burada uygulamalar kesim uzunluğu ve elmas boncuklu tel ile birlikte kullanılan diğer ekipmanlara (özellikle zincirli kollu kesici) bağlı olarak yapılabilmektedir. Özel koşullarda bazı makinalar ray üzerinde hareket etmeksizin, sadece kenardan kenara dönerek iki paralel kesim yapabilir [1].

Elmas boncuklu tel ile değişik kesim yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi klasik sistemle kesimdir. Elmas boncuklu tel kullanılarak, klasik yöntemle yapılan kesim işlemi tamamlandıktan sonra kesim sırasında elmas boncuklu telin blok üzerinde bıraktığı izler, (**Şekil 2.9**) klasik kesimin başarı derecesini göstermekte bir ölçüt olarak kullanılabilir. Başarılı ve verimli klasik bir elmas telli kesme işlemi sırasında alt kısmındaki tel sabit, üst kısmındaki tel ise aşağıya doğru toplanarak gelmelidir [2].

Tel kesme, sinterlenmiş veya elektrokaplanmış elmasla yapılan taşlama işlemidir. **Şekil 2.10**'da gösterildiği gibi takım teması boyunca kesme işleminin 3 temel kademesi vardır. Kesmenin başlangıcında elmas tanesi iş parçasıyla η açısıyla temas eder.



Şekil 2.9 : Verimli bir kesimde elmas boncuklu telin 6,5 m x 6,0 m boyutlu doğaltaş blok üzerinde bıraktığı izlerin grafikte gösterilişi [2].

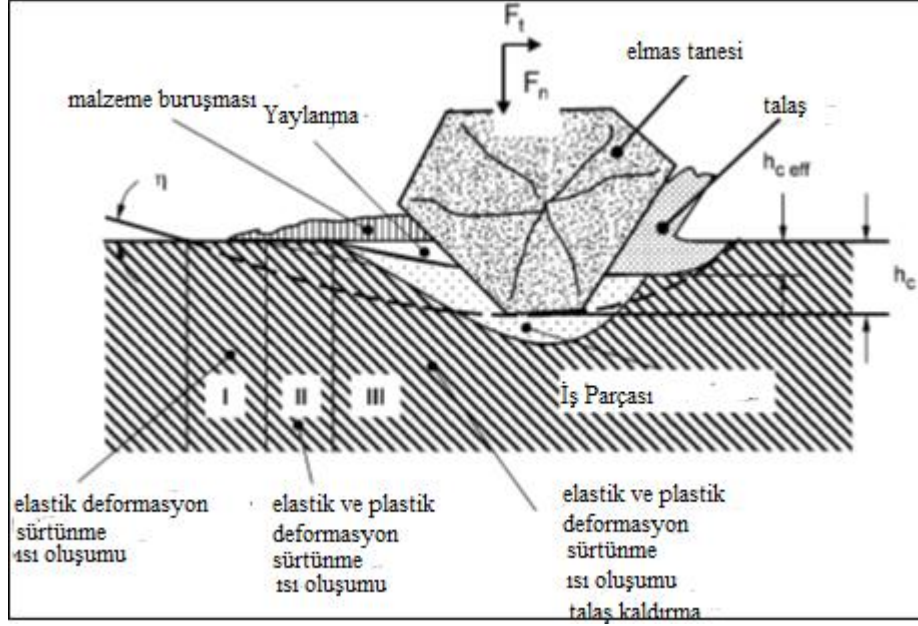
(I) bölgesinde malzeme elastik deformasyona maruz kalır. Elmas tanesiyle iş parçası arasında sürtünme ve sıcaklık artar. (II) bölgesinde boncuğun penetre olmasıyla birlikte plastik deformasyon meydana gelir. Sonuç olarak uygulanan kuvvet artar. Sürtünme ve rezilyans en yakın iş parçası yüzeyinde daha fazla ısı artışına sebep olur. Sonuç olarak, elastik limit düşer ve plastik deformasyon artar. Yüzey topografyası değişir, buruşmalar gerçekleşir. Taşlama prosesinin temel kademesi (III) bölgesinde gerçekleşir. Bu alanda talaş oluşumu gözlenir. Kesme prosesinde talaş oluşumu ile birlikte plastik deformasyon ve ısı artışı gözlenir [3].

Elmas telli kesim verimliliği değerlendirilirken en önemli iki parametre dikkatle incelenmelidir.

Verimlilik: Saatte kesilen miktardır ($m^2/saat$)

Dayanım veya kullanım ömrü: Telin birim uzunluğu ile yapılan kesim miktarıdır.

Bu iki parametrenin doğru ayarlanması ve kontrolü sayesinde en iyi maliyet/verimlilik oranı elde edilebilmektedir [3].



Şekil 2.10 : Metal taşlamanın kademeleri [3].

2.2 Elmas Boncuklu Tel İle Blok Kesiminde Kullanılan Bazı Yardımcı Ekipmanlar

2.2.1 Hidrolik kriko

Doğal taş ocağında çeşitli üretim yöntemleriyle kesilen kütlenin ana kayaktan ayrılması için kullanılan aletlerden biri de hidrolik krikodur. Hidrolik kriko ekipmanı üç ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.11) [1];

Güç ünitesi: elektrik-dizel motor, basınçlı hava (pnömatik) tarafından sağlanır.

Hidrolik kumanda ünitesi: Üzerinde kullanılacak kriko adedine göre hidrolik kanal ve hortum bağlantıları bulunur. Sistem hidrolik sıvı (yağ) ile çalıştığından, pompa ve yağ tankı bu sistem içinde yer alır. Ekipman üzerinde kumanda merkezi, kolları ve basınç göstergeleri bulunur [1].

Krikolar (bom): Sistemden ayrı olarak bulunur. Silindirik pompa sistemli krikolar, yüksek basınç hidrolik yağ hortumları vasıtasıyla hidrolik kumanda ekipmanına bağlanır. Krikoların kaldırma itme güçleri 5, 10, 20, 30, 50, 100 ton şeklinde olabilir. Kriko çapları ve boyları da değişkendir [1].

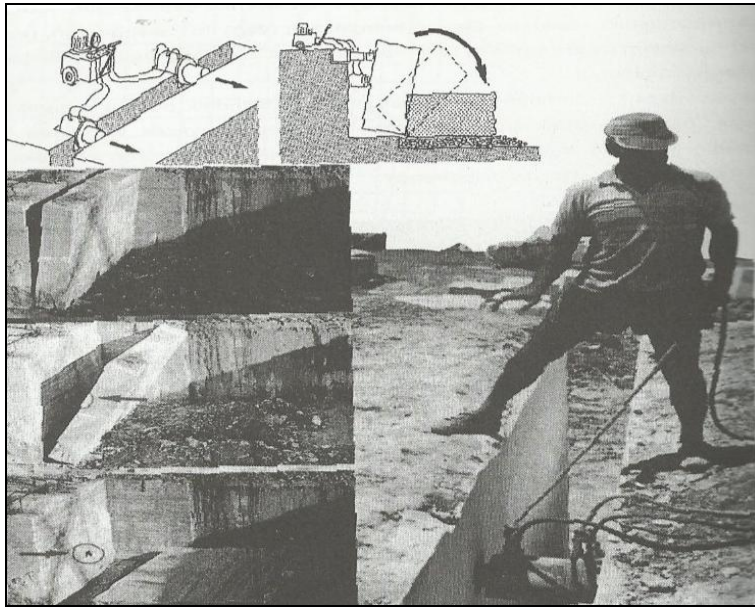
Hidrolik krikoda kullanılan hortumların basınca dayanıklı olması ve sık sık kontrol edilmesi gerekir. Hidrolik kriko aletinin en önemli parçası ise krikolardır. Bu ekipmanda birden fazla sayıda kriko bulunabilir. Bunların bir kısmı kısa ve küt, bir kısmı ise ince ve uzundur. Kısa ve küt olanlar, ilk ayrımalarda ve kütle ile ana kaya

arasındaki açıklığın az olduğu durumlarda kullanılır. Uzun olanlar ise blok ayırmanın ileri evrelerinde kullanılır. Hidrolik krikolar üzerlerindeki kulplara bağlı olan ipler vasıtasıyla kesim yapılan boşluğa yerleştirilir. Sistemin çalışması ise şöyledir [1];



Şekil 2.11 : Hidrolik krikoların ekipmanları ve parçaları [1].

Elmas telli kesme makinası yardımıyla kesilen kütlenin ana kayadan ayrılması gerekir. Bunun için önce kütlenin üzerinde en kısa bomun girebileceği kadar bir bölge açılır. Bu bölgeye krikonun yerleştirilir ve çalıştırılır. Kütle ana kayadan ayrılmaya başlar. Üst kesimden ayrılmaya başlayan kütle ile ana kayadan oluşan boşluğa ikinci bir krikonun yerleştirilir. İkinci krikonun, kütleyi biraz daha açacağı için ilk krikonun yukarı alınır. Bu işlem devam ettirilerek kütlenin ana kayadan ayrılması sağlanır (Şekil 2.12) [1].

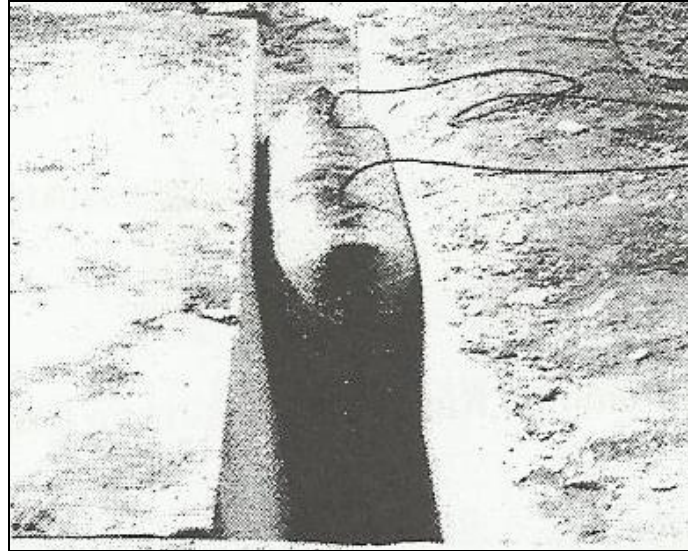


Şekil 2.12 : Telli kesme makinası ile kesilmiş olan kütle ile ana kayadan krikonun yerleştirilerek kütlenin ana kayadan ayrılması ve devrilmesi [1].

2.2.2 Hava ve hidrolik metal yastıklar

Son yıllarda hidrolik krikoy yerine bazı modern doğal taş ocaklarında hava yastığı kullanılmaya başlanmıştır (**Şekil 2.13**). Çalışma prensibi yaklaşık hidrolik krikoy ile aynıdır. Ancak hidrolik krikoy yerine basınçla dayanıklı plastik malzemeden imal edilen hava yastıkları kullanılır. Kütle kesildikten sonra aradaki boşluğa oldukça ince olan yastık yerleştirilir ve şişirilmeye başlanır. Şiştikçe basınç yapan yastık kütleyi ana kayadan iterek uzaklaştırır. Kullanımda büyük avantajları vardır. Kütleye birçok noktadan basınç yaptığı için daha düzgün bir ayrılma sağlar. Ancak patlama ihtimali olduğundan, çalıştırılırken yakınında bulunmamak gerekir [1].

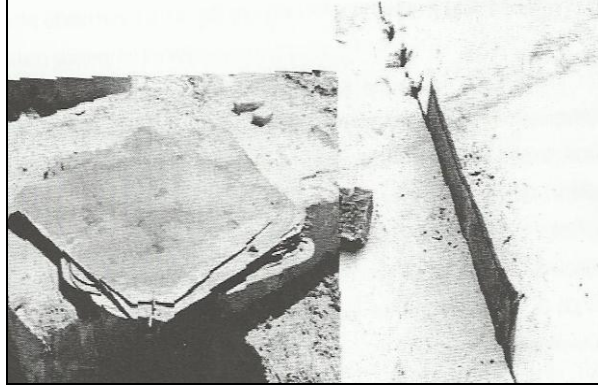
Hava yastıklarına benzer sistemle çalışan ve hidrolik metal yastık (yassıveren) adıyla anılan genişleyen bir ya da daha fazla kare veya dikdörtgen metal plakalardan oluşan sistem de son yıllarda doğal taş ocaklarında blok devirme amacıyla kullanılmaktadır (**Şekil 2.14**). Bunlar hidrolik olarak basınçlı suyun levhalar arasına enjekte edilmesiyle çalışır. Hidrolik metal yastıklar son derece çelik levhalardan oluşmuşlardır ve en son tekniklerle lazer lehimleme kullanılarak birleştirilmişlerdir. Kullanım öncesi kalınlık tam 2 mm'dir. Hidrolik bir pompa, hidrolik metal yastığın genişlemesi için gerekli su basıncını ileten bir elektrik ya da pnömatik motor sayesinde çalışır (30-40 atm).



Şekil 2.13 : Kesilen kütleyi ana kayadan ayıran hava yastığı [1].

Bu aletler yaklaşık 25 cm'den 30 cm ya da daha fazlasına kadar genişlerken 300 ton'a kadar bir itme sağlayabilirler [1]. Her hidrolik kumanda aleti aynı anda 2 veya 3 hidrolik metal yastığı besleyebilir ve hidrolik metal yastıklar çalışma aynasına paralel/dikey olarak yerleştirilirle. Büyüklüğe bağlı olarak (boyutları 150*150 cm'ye

kadar ulaşabilir) ağırlıkları 7 kg'dan 15 kg'a kadar değişebilir. Kullanılan hidrolik metal yastıklar bir kullanımdan sonra yıprandığı için kullanılmazlar [1].



Şekil 2.14 : Doğaltaş ocaklarında kullanılan hidrolik metal yastıklar [1].

2.3 Elmas Telli Kesme Makinası

Doğaltaş ocak işletmesinde makine ve donanım seçimi doğrudan doğruya üretimi ve maliyeti etkileyen en önemli faktörü oluşturmaktadır. Bu açıdan doğal taş ocak işletmelerinde makine ve donanım seçiminden kaynaklanan problemlerin bulunması doğaldır. Doğal taş yatağının tüm niteliklerini belirleyen verilerin teknik ve ekonomik yönden topluca değerlendirilmesi ile yapılacak makine ve donanım seçimiyle yüksek karlılığa ulaşmak mümkün olabilecektir [1].

Günümüzde sıklıkla kullanılan elmas boncuklu tel ile doğal taş kesimi, kırık ve çatlakları blok almaya engel olmayan doğal taş yatakları için ekonomik ve hızlı bir yöntemdir. Elmas telli kesme yönteminde blok doğal taş üretmek için; elmas boncuklu tel, elmas telli kesme makinası, delici makineler ve yardımcı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bir elmas telli kesme makinası ve makinayı oluşturan parçalar **Şekil 2.15'**de gösterilmektedir [1].

Genel olarak elmas telli kesme makinası dört ana parçadan oluşmaktadır [1];

Gövde-Motor: Bir sac muhafaza içine yerleştirilmiş, benzin veya elektrikle çalışan bir motor ve dişli sistemden oluşur.

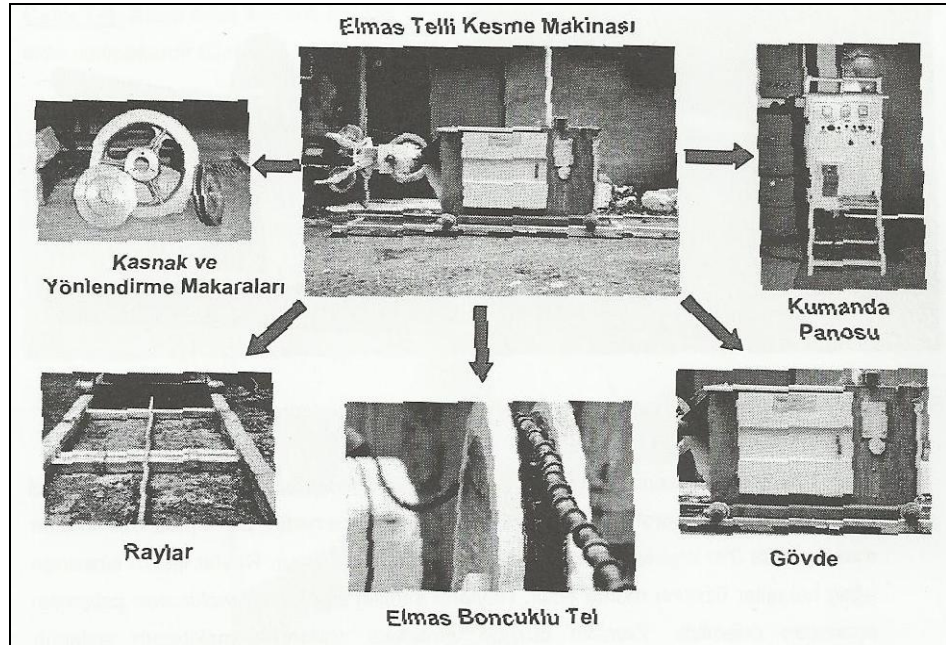
Kasnak: Dökme çelik ve alüminyumdan yapılmış ve gövde üzerinde dişli sistemi ile motora bağlanmıştır (**Şekil 2.16**). Üzerinde bulunan oluğa (yive) özel yapılmış plastik (**Şekil 2.17**) yerleştirilerek elmas boncuklu telin metal aksam ile teması kesilmiş olur. Telin dönüşü sırasında lastiği yıpratmamak ve elmas boncuklu teli rahatça çevirebilmek için kasnağın (volanın) çevresinin mümkün olduğu kadar büyük

bir bölümünün tel tarafından kullanılması gerekir. Bunu sağlamak için makineyi kesilecek kütleden belli bir uzaklığa koymak veya yardımcı, yönlendirici makaralar kullanmak gerekir. Aksi halde elmas boncuklu tel kasnak üzerinde kayacak ve bu da lastik yıpranmasına ve dönme hızının kontrol edilememesine neden olacaktır [1].

Ray: Telli kesme makinasının üzerinde hareket edebildiği ve yol aldığı kısımdır (**Şekil 2.15**). Genellikle I profilden yapılmış bir çelik malzemedir. Bir elmas telli kesme makinasında 3'er metrelik 2 veya 3 adet ray parçası bulunur. Raylar kesim sırasında ağaç balastlar üzerine monte edilir. Rayların sabitlendiği zemin makinanın çalışması açısından çok önemlidir. Zeminin düzgün olmaması nedeniyle makinanın sallantılı çalışması, kesime ve kullanılan elmas boncuklu tele zarar verebilir.

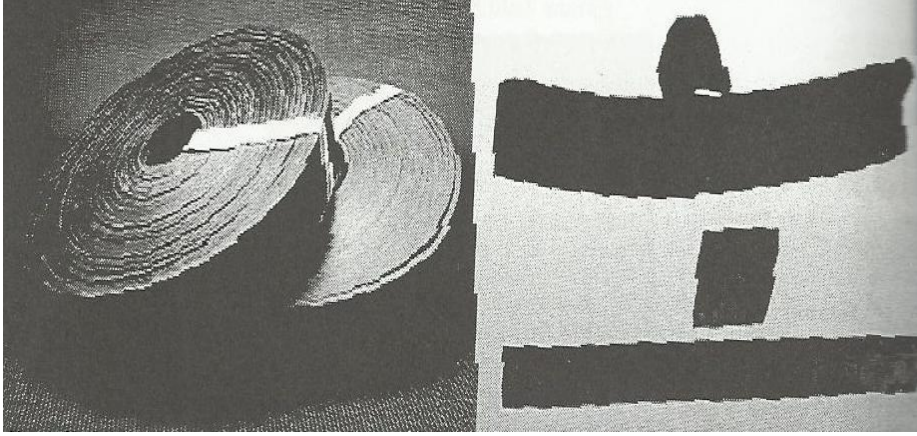
Ray uzunluğu, kesilen yüzeyin uzun kenarından daha fazla tutulmalıdır. Bu fazlalık en az, yüzeyin %10 'u kadar olmalıdır. Basamak yüksekliği 7 metreye kadar olan işletmelerde raylar ön yüzden 3 metre, basamak yüksekliği 7 metreden fazla olanlarda ise 4 metre uzaklığa yerleştirilmelidir [1].

Kumanda tablosu: Elmas telli kesme makinasına kesim sırasında kumanda, bu işletim panosu yardımıyla yapılmaktadır (**Şekil 2.15**) [1].



Şekil 2.15 : Elmas telli kesme makinası ve makineyi oluşturan parçalar [1].

Türkiye’de elmas telli kesme makinası üreten birçok firma bulunmaktadır (Demmak, Makesan, Uğur Makine, Ahmetoğulları Makine vb.) [1].

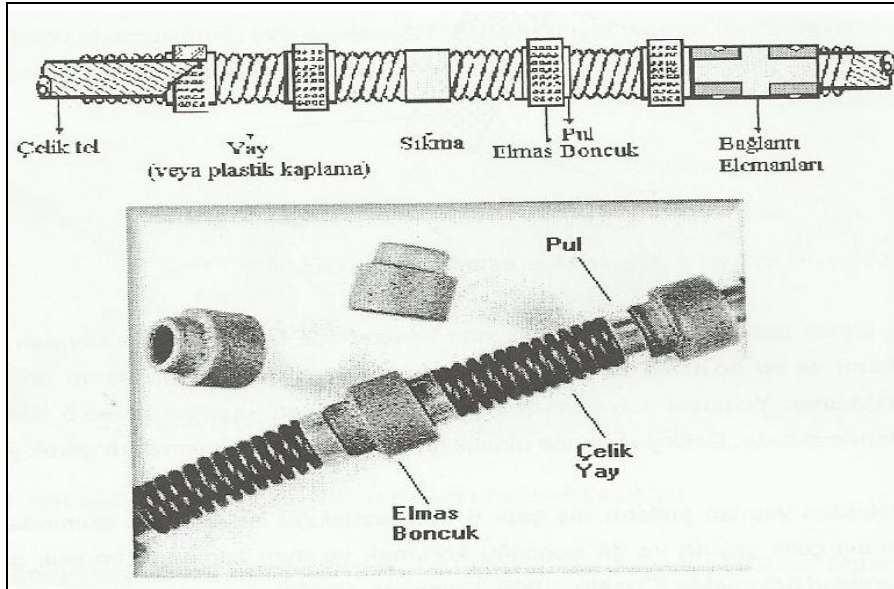


Şekil 2.16 : Kasnak üzerine monte edilen plastik yapılmış kaplama [1].

2.4 Elmas Boncuklu Teli Oluşturan Parçalar

Doğal taş işletmeciliğinde kullanılan elmas boncuklu tel, **Şekil 2.17**'de gösterildiği gibi 5 mm çapında çelik tel ve bunlar üzerine dizilen paslanmaz çelikten yapılmış yaylar arasına yerleştirilmiş elmas boncuklardan oluşmaktadır. Bunlara ek olarak, telin iki ucunu birbirine bağlayan bağlantı elemanı, elmas boncuk ile yaylar arasına yerleştirilen küçük çaplı pullar da yer almaktadır [1].

Çelik Tel: Krom-nikel alaşımlı her biri 19-61 telcikten oluşan 7 adet sarımlı telin burulması ile elde edilmektedir [1].



Şekil 2.17 : Elmas boncuklu telin dizilimi ve parçaları [1].

Yaylar: Boncuklar arasına dizilmiş çelik elastik elamanlardır. Dış çapı 8 mm olup, uzunluğu 20-30 mm arasında değişmektedir. Yaylar paslanmaz çelik telin bükülüp özel ısıtıl işleminden geçirilmesi yolu ile üretilmektedir. Kesim süresince telde

olabilecek ani gerilmeleri azaltmak ve de boncukların tel üzerinde kaymasını önlemek için kullanılmaktadır. Granit gibi sert kayalara yönelik uygulamalarda ise, sert taş kesim sonucu çıkan çamur karbonatlı kayaç çamurundan çok daha aşındırıcı olduğundan, çelik tel ve elmas boncuk iç çeperlerinin aşınması söz konusudur. Bu yüzden sert taşların kesiminde ya çelik yay yerine aynı görevi üstlenen plastik tüpler kullanılmakta ya da tüm elmas boncuklu tel sisteminin üstü yüksek basınçla yerleştirilen termoplastik reçine ile kaplanmaktadır. Boncukların üzerine kaplanan bu plastiğin çapı boncuktan çok az fazladır, ancak, kesim esnasında boncuğun üstündeki kaplama açılmakta ve böylece boncukla taşın teması engellenmemektedir. Bu plastik malzeme, kesim esnasında çıkan çamurun çelik teli aşındırmasına engel olmaktadır [1].

Sıkımlar: Elmas boncukların kesim süresinde tel üzerinde fazla miktarda kayarak bir tarafa toplanmalarını ve tel boyunca elmas boncukların telden çıkıp kaybolmalarını önlemek için kullanılmaktadırlar. Yumuşak kayalarda 3 boncukta bir, sert kayalarda 5 boncukta bir sıkma kullanılmaktadır. Çelik yay yerine plastik tüp kullanıldığında sıkımlara gerek yoktur [1].

Pullar: Metalden yapılan pulların dış çapı 8 mm, uzunluğu ise 3-4 mm arasında değişen pulların görevi çelik yayları ve de boncuğu korumak ve aynı zamanda boncuk gövdesine gelecek darbeleri önlemektir [1].

Tel Bağlantı Elemanları: Standart boylardan daha uzun tel üretmek için ocakta standart uzunluktaki çelik teller bağlantı elemanları ile birbirine bağlanır. Bağlantı elemanları ayrıca, tel kesim için taşla konulduğunda, telin iki ucunun birleştirilmesinde ve kesim esnasında kopan telin bağlanmasında kullanılır.

Elmas Boncuklar: Elmas boncuklu telin taşı kesen ana kısmıdır. Başarılı bir elmas boncuğun tasarımı, yüksek kaliteli bağlayıcı/çimento (matriks) tozları ile elmasların uygun seçimi ile başlamaktadır. Matriks herhangi bir zarar vermeden elmas tanelerini sıkı bir şekilde tutmalı ve kesme süresince belli bir aşınma göstererek, hem mikro düzeyde sabanlama yapan elmas tanelerinin uç kısmının rahat işlem yapması, hem de talaş akışının rahat gerçekleşmesini sağlamalıdır. Boncuk verimi için elmas-matriks arasındaki bağ son derece etken olmaktadır. Elmas boncuklarının mikroyapısı iki ana karakteristik malzeme tarafından belirlenmektedir. Bunlar, elmas ve matrikstir (bağlayıcı malzeme) [1].

3. ELMAS SEÇİMİ

Elmas tanecikleri kesme aşındırma işlemlerini gerçekleştiren saf karbondur. Milyonlarca yıl önce karbon, yüksek sıcaklık ve basınç (1100-1300 °C ve en fazla 7 Gpa) altında, bazen 80 km den daha derinlerde kristallere dönüşmüştür. Kübik sistemde, çoğunlukla oktaeder ve heksakisoktaeder olarak kristallenir. Yoğunluğu 3,52 g/cm³ tür. Yeryüzüne bilinen en sert doğal maddedir. Korundum ve elmas, Mohs skalasında sırayla 9. ve 10. sırada yer almalarına rağmen, elmasın aşınma direnci korundumdan 140 kat daha yüksektir. Bu özelliğinden dolayı büyük kullanım kolaylığı bulunmaktadır. Elmas kristalleri açık sarı, şeffaf renksiz renkten, sarı-yeşile kadar değişik renklerde olabilmektedir. Bu renk değişimleri kristalin yapıda eser miktarda azot kapanımından dolayıdır. Renk değişimleri ayrıca, yüzeyden ışık yansımaları ve inklüzyon tiplerinden de etkilenmektedir. Bir elmas boncuğun verimi normal olarak elmastaki renk değişimlerinden etkilenmez [1].

Uygulamanın gereksinimleri karşılması için elmas bağlantılı parametreler düşünülmelidir. En önemlileri [1]:

- Elmas tipi
- Tane Büyüklüğü
- Konsantrasyon
- Kaplama

3.1 Elmas Tipi

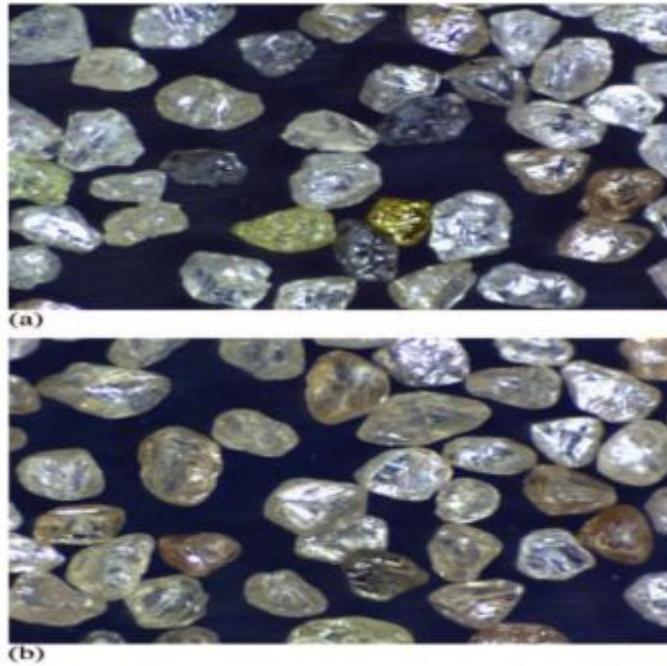
İşlenecek malzeme öncelikle takımda hangi tip elmasın kullanılacağına karar verir. Genel kural iş parçası sertleştikçe elmasın sertleşmesidir [2].

Elmas üreticileri takım üreticilerine mekanik dayanım, termal stabilite ve matriks bağlanma karakteristiğine göre özellikleri değişen doğal ve sentetik elmaslar sunar [2].

Doğal elmaslar madenden çıkarılmış elmas bortun kırılmasıyla üretilirler. Bu yüzden metal inklüzyonları içermediği için termal stabilitesi yüksektir. Doğal elmaslar 1400

$^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde bile mekanik özelliklerini korurken, sentetik elmaslar 800°C 'nin üzerinde mekanik özellikleri düşer. Matriks bağlanması açısından girintili çıkıntılı elmaslar daha iyi bağlanma özelliğine sahiptir. Fakat düzensiz elmas yüzeyi mekanik özellikleri zayıflatır. Fakat daha şiddetli uygulamalarda elmas yüzeyi yuvarlatılarak bu sorun kontrol altına alınabilir. Bu yuvarlatılmış elmaslar yüksek darbe yüklerine direnç için tasarlanmıştır. Yuvarlatılmış şekil yüksek kesme kuvvetleri ve güçlü makinalar gerektirir. Yuvarlak şekilli elmaslarda yüksek presleme sıcakları gerekir bu yüzden takım üretim maliyetini düşürmek gerekir [2]. Söz konusu 2 elmas abrasivi **Şekil 3.1**'de gösterilmiştir.

Sentetik elmasın başlıca avantajı spesifik uygulama gereksinimleri için tasarlanıp üretilmelidir. Market isteklerinin çeşitliliğine göre 2 tür elmas tanesi geliştirilmiştir. Kobalt ve Nikel bazlı solvent kullanılmasıyla farklı elmas kristalleri sentezlenebilir. Kobalt sınıfı sıralı metal inklüzyonlarıyla karakterize edilir.



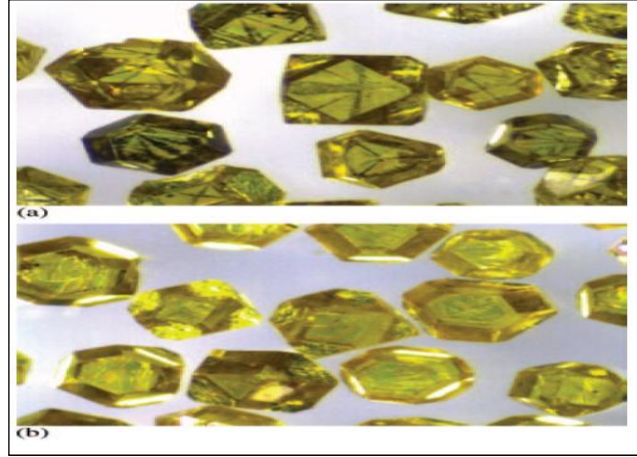
Şekil 3.1 : Doğal elmas aşındırıcılar (a) girintili yüzey ve (b) yuvarlak yüzey [2].

Nikelde impüritelerin sıralı dizilmesi transparanlık, kozmetik görünüm ve bağ mukavemeti kazandırır. **Şekil 3.2** iki elmas tipi arasındaki farkı gösterir [2].

VIII grubu metalleri elmasın katalitik grafitleşmesinden sorumludur. Elmasın grafit dönüşmesi %56 hacim artışına neden olur. Ayrıca grafitleşme sonucu katalistle matriksin termal genleşme katsayı farkından oluşan kalıntı gerilmeler elmasın

zayıflamasına ve kopmasına neden olur. Sonuç olarak inklüzyonların sayısı ve dağılımı termal genleşmesiyle bağlantılıdır [2].

Kobalt bazlı sentez prosesi ile üretilmiş elmas tanelerinde inklüzyon daha iyi yönlü ve sıralanmış olduğundan nikel bazlı alaşıma göre daha düzensiz kırılma eğilimi gösterir. Bu özellik düşük kesme oranlarında serbest kesmeyi artırır veya daha ağır koşullarda kalitesini düşürür [2].



Şekil 3.2 : Katalist olarak (a) kobalt bazlı alaşım ve (b) nikel bazlı alaşım kullanılarak üretilmiş sentetik elmas aşındırıcılar [2].

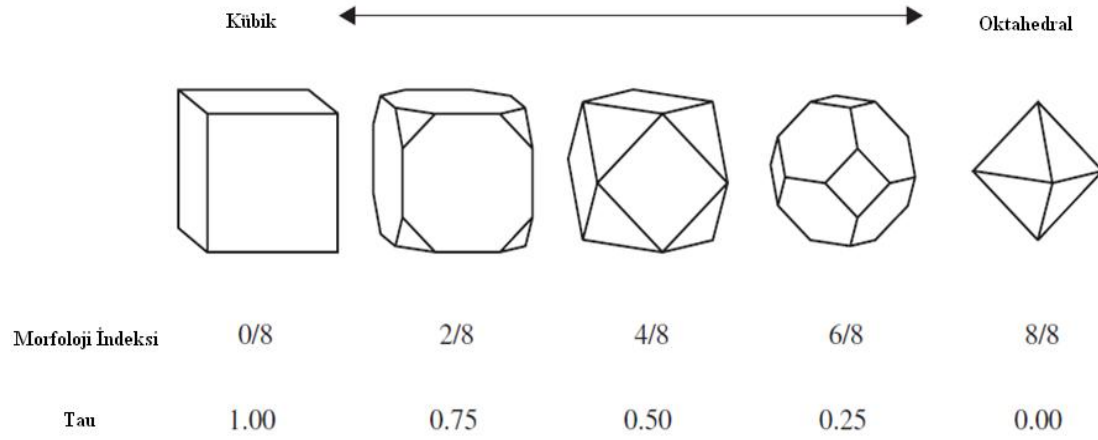
Son 40 yılda elmasın termal stabilitesini ve dayanımını artırmak için çok sayıda laboratuvar çalışması yapılmıştır. Şimdiki standart prosedürü elması ve topu bir kapsül içine koyarak topun elmasa çarpmasıyla yapılan darbe testidir. Elmas ısıtılma işleminden önce ve sonra darbe testine tutulur. Bu sayede ısıtılma işleminin elmasın dayanımına olan etkisi tahmin edilebilir. Ancak matriksin elmasla arayüzey reaksiyonu sonucu elmas bozunabilir [2].

Elmas mukavemetini belirlemenin iki yolu vardır. Birincisi elmasın % 50 sinin elek boyutu altında kalması için gereken süre hesaplanır. İkincisi belirli zaman aralığında elekten üzerinde kalan elmas miktarını ölçmektir. Bu zaman tokluk indeksi olarak adlandırılır [2].

Diğer bir teknik ise basma kırılma dayanımıdır. İki silindir yaya, yük ölçere ve data kazanma sistemine dinamik yükleme ve elmas kristaline basmak için bağlanır. Her kristalin kırmak için gerekli kuvvet belirlenir ve ortalama değer belirlenir [2].

Hangi yöntem seçilirse seçilsin elmasın aşınma davranışı, parça kompozisyonu, üretim metodunu belirlemek için yararlı bir elmas mukavemeti indikatörü sunar [2].

Mukavemet indikatörüne ek olarak sentetik elmasın şekli de üretim kalitesine etki eder. Elmasın kristal morfolojisi saf küpten saf oktahedrona değişir (**Şekil 3.3**).



Şekil 3.3 : Çeşitli sentetik elmas morfolojileri ve numerik kodları [2].

Elmas sentezi prosesi sonucunda oluşan yapı kübo-oktahedraldir. Morfoloji indeksi ve tau parametresi elmasın yapısını belirlemede en önemli araçtır. Şekil ile ilgili olarak yüzey morfolojisi, kenar geometrisi, partikül oranı da belirlenebilir [2].

Elmas şekli partikül bütünlüğünü ve kırılma karakteristiğini etkiler. Kübo-oktahron şeklindeki elmas düzensiz kristallere göre daha güçlüdür. Ancak düzensiz yapılarda bağ mukavemeti daha yüksektir. Yüksek bağ mukavemetli zayıf elmas doğal elmasa göre çerçeve kesmede daha çok kullanılır [2].

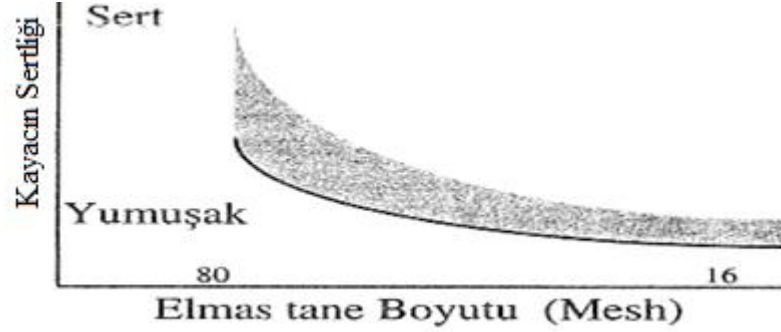
3.2 Elmas Tane Boyutu

Doğal ve sentetik elmas aşındırıcıların her ikisi de tane boyutu açısından ikiye ayrılırlar. Bunlar ‘saw’ ve ‘wheel’. 80 µm den daha kaba taneli elmaslar ‘saw’ elmas olarak adlandırılmaktadır. Grit boyutu, alt ve üst elek açıklığı değerleriyle tanımlanır. Bazı elmas gritler ayrıca karat başına düşen parçacık sayısı ile de belirlenebilir [2].

Kesici uçlarda kullanılan elmas aşındırıcılar 80 meshten daha kaba tanelidir ve hızlı talaş kaldırma işleminin önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Kayaç ve beton kesme işleminde kullanılan elmaslar 18-60 mesh boyutunda (1-0.25 mm) ve küp-sekizyüzlü şekle sahiptir [2,5].

Genel eğilim ince taneli elmasların yüzey kalitesinin önemli olduğu ikincil yavaş kesme işlemlerinde kullanma yönündedir. Daha sağlam olan ince taneli elmasların

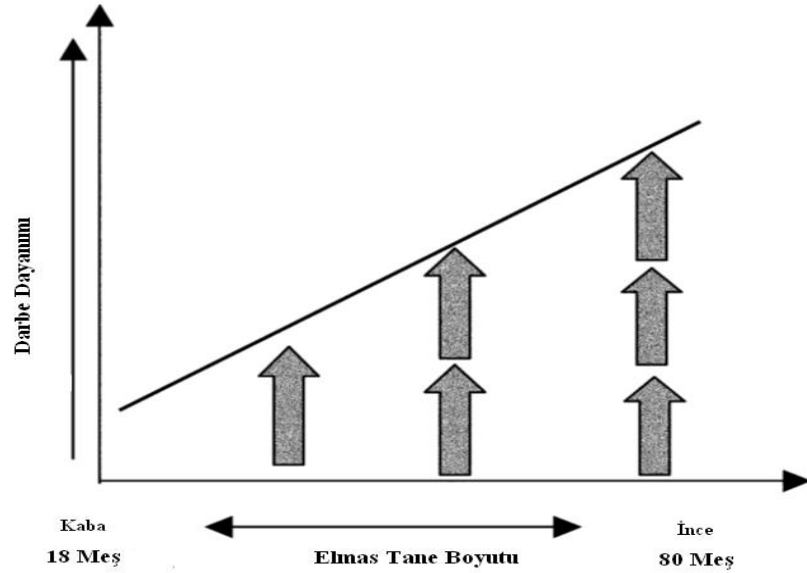
ayrıca **Şekil 3.4**'de gösterildiği gibi sert ve kesilmesi zor olan malzemeler için de kullanılabilir [2,5].



Şekil 3.4 : Kesilen kayaç sertliği ve elmas tane boyutu arasındaki ilişki [5].

Kaba taneli elmas kullanmanın en büyük avantajı yüksek kesme hızlarında kullanılabilmesidir. Büyük hacimli malzemelerin kesiminde kullanımı mümkündür. Ancak tanelerin çok kaba ve çalışılan malzemenin çok sert olması durumunda aşırı elmas kaybı meydana gelecektir [2].

Sonuç olarak, tane boyutu küçüldüğünde ürünün dayanımı artar. Bu ilişki **Şekil 3.5**'de gösterilmektedir. 80 meşten ince elmas aşındırıcılar aşındırma prosesinde kullanılmaktadır [2].



Şekil 3.5 : Tane boyutuna bağlı olarak elmasın darbe dayanımı [2].

Elmas tane boyutuyla kesilecek malzeme arasında sıkı bir ilişki vardır. Genellikle tavsiye edilen tane boyutları **Çizelge 3.1**'deki gibi ifade edilmiştir.

Çizelge 3.1 : Malzeme türüne göre kullanılması gereken elmas tane boyları [2].

Tane Boyu	Malzeme Türü
40/50 U.S. Mesh	Sert, ince taneli malzemeler (Örneğin, granit ve bazalt)
30/40 U.S. Mesh	Orta sert malzemeler (Örneğin, mermer)
20/30 U.S. Mesh	Nispeten yumuşak malzemeler (Örneğin, traverten)

3.3 Elmas Konsantrasyonu

Bir segmentteki veya boncuktaki elmas konsantrasyonu 4.4 karat/cm^3 'tür (hacimce %25). Bunun dışındaki konsantrasyonlar nispidir. İşlenmesi kolay ve aşınma direnci düşük bir malzeme ile çalışılacaksa elmas konsantrasyonu daha fazla olmalıdır [2].

Tane boyutu ile birlikte elmas konsantrasyonu birim alandaki kesme noktası sayısını etkiler. **Çizelge 3.2**'de gösterildiği gibi, toplam elmas sayısı ve oluşan elmas boşluk sayısı konsantrasyonla doğru, tane boyutuyla ters orantılıdır. Genel olarak kolay kesim yapmak ve daha aşındırıcı kayalar için elmas konsantrasyonu daha yüksek olmalıdır [2,5].

Kesici ucun servis ömrünü uzatmak için konsantrasyon artırıldığında kullanılan makinalarda enerji tüketimi de fazla olacaktır. Makinanın gücü artırılmadığı takdirde kesme işlemi gerçekleşmez. Servis ömrü yüksek elmas konsantrasyonu ve ince taneli elmaslar kullanılarak artırılabilir [2,5].

Elmas konsantrasyonu düşürüldüğünde, her bir elmasa gelen yük fazlalaşacak ve belirli bir noktaya kadar her bir elmasın kaldırdığı talaş miktarı artacaktır. Eğer elmasın mukavemeti/tokluğu aşılsa, elmas taneleri parçalanır ve matristen düşer. Kaba taneli elmaslar düşük konsantrasyon ile beraber yüksek kesme hızlarında kullanılabilir [2].

3.4 Elmas Kaplama

Matrisin deformasyonu sırasında, elmas yüzeyi boyunca metalin kayması gerçekleşir. Elmasın metaller üzerindeki sürtünme katsayısı düşüktür (0.1-0.15) ve bu yüzden metal ara yüzeyde yatay olarak kayar [2].

Kesici takım üretiminde elmas-matris ara yüzeyindeki sürtünme artırılarak elmas ile matris arasındaki bağ geliştirilebilir. İlk yöntem termal ya da kimyasal işlemler ile

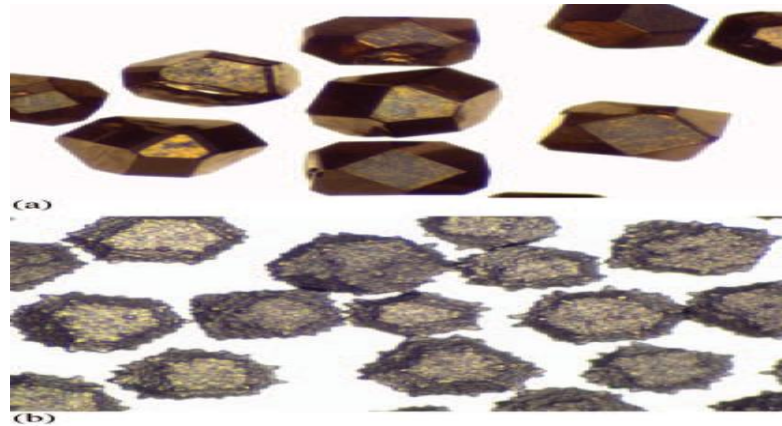
elmas tanelerinin yüzeyini pürüzlü hale getirmektir. Temel dezavantaj bağ kuvvetinde önemli gelişmeler kaydetmek için elmas yüzeyinden çok fazla miktar malzeme kaldırılma zorunluluğudur. Böyle bir aşındırma işlemi elmasın bütünlüğüne ve mukavemetine zarar verebilir [2,5].

Çizelge 3.2 : Kırık yüzey alanındaki (cm^2) toplam elmas ve oluşan elmas boşluk sayısı [2].

US Meş No	Elmas Konsantrasyonu					
	15	20	25	30	35	40
25/35	14	19	24	29	34	38
30/40	22	30	37	45	52	60
35/40	26	34	43	51	60	68
40/50	38	51	63	76	88	101
50/60	65	87	109	131	153	174
60/80	85	114	142	170	199	227

Elmas ile matrisin tutunmasını güçlendirmek için geniş kullanım alanına sahip etkili yol ise elmasın, karbürler (titanyum, krom, silisyum, zirkonyum, niyobyum, tungsten, tantalyum) ile kaplanmasıdır. Bununla birlikte karbür tabakasının oksitlenmesini engellemek amacıyla ilave bir nikel kaplaması da yapılabilir [2]. **Şekil 3.6'**da titanyum karbür ve nikel kaplı elmas tanelerini görebilmekteyiz.

Titanyum bir karbür yapıcıdır ve bu sayede elmas yüzeyindeki kimyasal reaksiyonlarla elmas-matris arayüzeyinde güçlü bir bağ oluşturduğu için tercih edilir. Nikel ise sinterleme sıcaklığını $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ altına düşürerek elmasın grafitleşmesini engellemek amacıyla kullanılır [12]. Endüstride Ti çok kullanılmaktadır. Ti-Fe arasındaki kimyasal bağ elmas-Ti arasındaki bağlanmadan daha kuvvetlidir.



Şekil 3.6 : Kaplanmış elmas taneleri a) titanyum karbür kaplı elmas taneleri b) ilave nikel kaplaması yapılmış elmas taneleri [2].

Ayrıca TiC ile kaplanmış elmaslar da kullanılabilir. Örnek olarak TiC kaplanmış demir esaslı elmas kompozitler akma dayanımı, elastise modülü, aşınma dayanımı gibi özellikleri bakımından Ti kaplanmış elmas kompozitlere nazaran kötü özellikler gösterirken kaplanmamış elmaslara sahip demir kompozitlere göre daha iyi özellikler gösterir [2,5].

Karbür yapıcılarının oksidasyondan korunabilmesi için yapılan nikel kaplaması ayrıca mekanik kilitlenmeler yardımıyla elmasların kopması minimize edilebilir. Birincil karbür tabakası (0.1-10µm) kalınlığındadır [2].

Kaplanmış elmas kullanmanın faydaları özellikle düşük çevresel hızlar ve yüksek kesme hızlarında artan servis ömrü, üretim koşullarında elmas yüzeyinin oksidasyonunu (700 °K) ve grafitte dönüşmesini engelleme, diğer agresif matris bileşenlerinden korumadır [2].

Uygun olmayan üretim koşulları kaplamada sorunlara neden olur ve performansa etkisi negatiftir. En ciddi tehlikeler kaplamanın oksitlenmesi ve kaplamanın matris içinde çözünmesidir [2].

4. MATRİS SEÇİMİ

Metal matriksin görevi elması sıkıca tutmak ve elmas kaybına eşit oranda aşınmaktır. Matriksin aşınma direnci iş parçasının abrasifliğini karşılamalıdır öyle ki ne elmas taneleri yetersiz çıkıntı yapmalı ne de prematür biçimde kaybolmalıdır. Yumuşak matriks elmasdan hızlı aşınır ve elmasın çıkmasına neden olur. Ancak matriksin aşınma oranının elmasın aşınmasından düşük olması iş parçasının sadece parlatılmasına sebep olur [1].

Sert ve yoğun malzeme işlenecekse, çapak oluşumu az olur ve matriksin aşınma oranı azalır. Ancak açık tekstürlü ve pütürlü malzemenin çok yüksek oranda işlenmesi çapak oluşumunu artırır ve aşınma oranını artırır [1].

Elmas taneleri matrikse mekanik veya kimyasal olarak bağlanabilir. Matriksin tutma özelliği akma dayanımına bağlıdır. Elmasın kopması için matriksin akma dayanımının geçilmesi gerekir. Kopma kuvveti sadece elastik deformasyon seviyesine bağlı değildir. Malzeme şeklinin gerilme yoğunlaşmasına sebep olmaması da gerekmektedir [1].

Matrislerin büyük çoğunluğu mekanik olarak bağlanmasına rağmen en iyi bağlanmayı kimyasal bağlanma yapar. Bu kimyasal bağlanma karbid oluşturuca alaşımlar kullanılarak yapılır. Bazı alaşımlar sıcak preslemede ergiyerek elmas taneciklerini ıslatır. Sonuç olarak karbid adaları elmas taneleri üzerinde çekirdeklenir ve sürekli tabaka oluşturmak için gelişir. Bu noktadan sonra tabakanın kalınlaşması porozite oluşumuna sebep olur ve mukavemeti düşürür. Ayrıca çok kalın karbid tabakası elmasın bozunmasına sebep olabilir. Karbid yapıcıların yeterli miktarda olmaması ıslatmanın yeterli olmamasına matriksin bağ mukavemetinin düşük olmasına neden olur [1].

Parça üretim prosesi elmas bozunmasını da göz önünde bulundurur. Elmas tanenin özelliği matriks kompozisyonuna ve proses sıcaklığına bağlıdır. Elmas taneleri 800 °C'de sertliğini kaybetmeye başlar. 1000 °C'nin üzerinde sertlik kaybı daha hızlıdır.

Bu yüzden matriks tozlarının 1000 °C civarında preslenmesi gerektiğinde elmas tanelerinin termal stabilitesi de göz önünde bulundurulmalıdır [1].

Sertlik düşmesine ek olarak elmas taneciklerinin grafitleşmesine de dikkat edilmelidir. Küçük tanelerde grafitleşme daha çok görülür çünkü presleme sıcaklığı ve süresi daha yüksektir. Co, Ni, Fe gibi C çözünürlüğü yüksek olan elementler grafit kaybını artırır [2].

Kobalt tozları, kaya ve beton kesmede kullanılan elmas kesici takımlarında en çok kullanılan metal matriksidir. Kobalt aşırı dercede zehirli olduğundan yeni matriks arayışına geçilmiştir. Matriksin kimyasal kompozisyonu elmasın kopmasıyla matriksin aşınmasını karşılayacak şekilde seçilmelidir. Bunun için Ti-Ni, Ti-Ni-Co, Ti-Ni-Al alaşımları kullanılmıştır. Matriks malzemesi olarak Ti'un seçilmesinde amaç TiC ün oluşturarak elmasla matriks arayüzeyinin kuvvetli olmasıdır. Ayrıca Ti un düşük termal genleşme katsayısı olmasıyla pressiz sinterlenmesidir. Ayrıca Ni sinterleme sıcaklığını düşürmek için ticari Ti alaşımlarına ilave edilir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı grafitleşmeyi düşürmek için 1000 °C'nin altında olmalıdır [6].

Elmasın yüksek orandaki sertliğinden dolayı sert malzemeleri kesme, delme, parlatma ve taşlama da kullanılır. Elmas takımlar, elmas tanelerin bağlayıcı matrikse yerleştirilmiş olduğu kompozit yapıda bulunur. Metal, seramik, polimer gibi bağlayıcı ajanları elmas taneleri kompozit bloklara bağlamak için kullanılır [7].

Bu kompozit blokların fabrikasyon metodu koruyucu atmosferde sıcak preslemedir. Bu kompozitin metal matrisi Kobalt, Bakır, Kalay, Tungsten ve Nikeldir. Bu elementlerin mekanik özellikleri yetersiz olduğundan Si, Ce, Sb gibi elementler tokluğu artırmak amacıyla ilave edilirler. Demir alaşımlarının Kobaltın yerine kullanılmasıyla servis ömrünün artırıldığı tesbit edilmiştir. Sıcak presleme bir sürü sorunlara yol açar. Sıcak preslemede kullanılan grafit kalıplar pahalıdır ve kısa süre dayanır. Pressiz sinterleme kalıbın ömrünü artırır. Bir yaklaşım da Dökme Demirin Hidrojen basıncında 1100-1140 °C'de sinterlenmesidir. Demir yüksek karbon çözebildiğinden dolayı elmasın grafitleşmesini önlemek için matriksin karbon miktarı artırılmalıdır [7].

Yukarıda bahsedilen sistemlerde matriksle elmas arasında zayıf arayüzey mukavemeti vardır. Elmasın kopması en önemli takım hasarıdır. Matriks elmas arayüzeyi elmasa uygulanan momente direndiğinden güçlü arayüzey reaksiyonuyla

oluşturulmalıdır. Sisteme aktif elementler eklenerek arayüzeyde kuvvetli kimyasal bağ oluşturulabilir. Örneğin Bakır-Kalay alaşımının elması ısılatması ve bağlanması zayıftır fakat Krom, Vanadyum, Titanyum gibi elementlerin ilavesiyle artırılabilir. Bu aktif elementler matriksle elmas arasında geçici karbid tabakası oluşturur. Bu karbid tabakası matriksle elmas arasında difüzyon bariyeri oluşturarak aşırı reaksiyonu engeller. Ayrıca termal gerilmelere karşı dengeleyici görev üstlenir. Titanyum kaplanmış elmaslar da takımın mekanik özelliklerini iyileştirir. Örneğin elmas takviyeli Cu-%10 Ni alaşımı Ti'la kaplandığında kırılma tokluğu artar [7].

Elmas disperse edilmiş kompozitte demir alaşımı en büyük metal bağı adaylarından biridir. Demir-karbonil tozunun hammadde olarak kullanılmasıyla pressiz sinterleme yüksek performanslı elmas takımı üretiminde en önemli yöntemlerden biridir. İnce Titanyum filmi kaplı elmas kullanımı Demir alaşımı ile elmas arasındaki Karbon difüzyonunu önler hemde matriksle elmas arasındaki kohezyon mukavemetini artırır. Titanyum kaplı elmas ve demir karbonil demir tozu en iyi özellikleri 1100 °C'de vakumda pressiz sinterlenmesiyle göstermiştir. Bu kesici takım sıcak preslenmiş Kobalt matriksli elmas kesiciden 10 kat fazla aşınma direnci göstermiştir [7].

Yüksek sıcaklıkta presleme sarf malzemesi tüketimini de arttırır bu da maddi kayıplara yol açar. Yüksek yoğunluklu malzeme üretmek için gerekli gerekli presleme sıcaklığı elmasın kalitesine göre değişmektedir [2].

4.1 Kobalt Tozları

Kobalt ve kobalt bazlı alaşımları çoğunlukla elmas emdirilmiş kesicilerde matriks olarak kullanılır. Diğer metallerin aksine kobalt tozları [2];

- **Çizelge 4.1'**de görüldüğü gibi değişik kalitelerde bulunabilir. Bu kaliteler partikül büyüklüğü ve büyüklük dağılımı, partikül şekli, kimyasal saflığa göredir.
- Düşük sıcaklıklarda ve basınçlarda sıcak presleme açısından maliyeti daha düşüktür.

Sıcak presleme durumunda kobalt [2];

- Yüksek akma dayanımı ve tokluğundan dolayı elmas ile bağlanma özelliği çok iyidir.
- Abrasif aşınma direnci yüksektir.

Deneyisel sonuçlar göstermiştir ki sıcak preslenmiş kobaltın mikroyapı, bileşimi, sertlik, mukavemet, aşınma direnci, süneklik gibi özellikleri toz özellikleri ve sıcak presleme parametrelerine bağlıdır. Toz seçiminde en önemli kriterlerden biri tane boyutu, impürite içeriği ve tipidir [2].

Partikül boyutu yoğunlaşma sıcaklığını ve elmas bozunmasını etkiler. 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sıcak pres sarf malzemelerinin aşırı kullanımı söz konusu olur. Hava içeren ortamda yapılan proses ekonomik olarak yürütülemez [2].

Kobalt tozlarının 30-35 MPa basınçta 700-900 °C'de 2-3 dakika tutulması ful yoğunluk için yeterlidir. Genellikle 1000 °C'nin üzerinde taneler kabalaşarak poroziteyi artırır ve mekanik özellikleri düşürür [2].

3 µden büyük kobalt tozları bronzla karıştırılarak daha yoğun alet yapılır ve daha büyük aşınma direnci sağlanır [2].

Kalsiyum, magnezyum, sodyum, oksijen, sülfür, stabil oksit gibi impüriteler mikroyapı geliştirerek yoğunlaşmayı önemli ölçüde etkiler [2].

Oksitler tane sınırlarını tutarak tane büyümesini engeller. Oksijen miktarı arttıkça tane sınırı kararlılığı artar. Sonuç olarak mukavemet, sertlik ve tokluk korunmuş olur [2].

50-60 ppm seviyesindeki sülfürler kırılganlığı artırdığı gözlenmiştir. 877 °C'i geçince sülfürler sıvı faz oluşumu ve büyümesiyle tane büyümesini sağlar. Bu durum hidrometalurjik ultra küçük taneli Umicore tozların karakteristik özelliğidir [2].

Hidrometalurjik proseslerde organik bileşikler aglomerasyonu ve tane büyümesini engellemek için kullanılır. Bu organik bileşikler tozlar üzerinde tabaka oluşturarak hava ortamında metal oksit oluşumunu önler [2].

Tozlarda magnezyum, sodyum, kalsiyum ve diğer elementler termodinamik olarak kararlı oksit ve sülfid tabakaları oluşturur. Böylece tane boyutu kararlılığı sağlanmış olur [2].

Çizelge 4.1 : Ticari kobalt tozları ve özellikleri [2].

Kalite	Elek altı boyutu (µm)	Safsızlıklar ¹ (ppm)	Üretici
SMS	~0.9	—	Umicore
Ultrafine	~0.9	Ag-940, S-45	
Extrafine	~1.4	—	
400 mesh	~4.5	Ca-290, Si-215, S-100	
CoUF	~0.9	Mg-250, Na-170, S-140	Eurotungstene
CoF	~1.25	n/a	
CoFS	~1.4	n/a	
CoC	~1.6	n/a	
CoD	~1.8	n/a	OMG
CoH	~3.5	n/a	
Submicron	~0.8	—	
Extrafine	~1.5	—	
400 mesh	~4	—	Sandvik [24]
Ultrafine	0.85–1.1	Mg-300, Na-130, Ca-100, Si-60	
Extrafine	1.15–1.5	Mg-200, Na-160, Ca-150, Si-60	

¹ Oksijensiz ortalama değerler.

5. ELMAS TAKIMLARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Elmas boncuklar üretim yapıları itibariyle genel olarak üç gruba ayrılırlar [1].

- 1) Elektrolitik kaplamalı elmas boncuklar
- 2) Sinterize (emprenye) elmas boncuklar
- 3) Kimyasal yapıştırırmalı elmas boncuklar

Her üç sistemde de öncelikle elmas tozları bir ayırım ve sınıflama işlemine tabi tutularak kesilecek kayaca uygun olarak boncuk tel imali gerçekleştirilmektedir [1].

Değişik boyutlardaki elmas tozları çoklu eleğin içine içine atılarak yaklaşık bir saat elekten geçirilerek aynı boydaki elmasın ayırımı sağlanır. Kullanılan elmas sentetik elmadır. Bu nedenle çok kaliteli olmak durumundadır. Aksi takdirde uzun uğraşlar sonucu elde edilecek elmas boncuk görevini yerine getiremeyecek ve beklenen performansı vermeyecektir [1].

Ayırım işlemi tamamlandıktan sonra ayrıştırılmış olan elmas taneciklerinden her boy elmas gruplarından birkaç numune alınıp mikroskopta incelenir. Köşe yapıları ve keskinlik düzeyi görülür [1].

Alınan numuneler mikrosertlik ölçüm cihazına konularak üzerine baskı uygulanır. Buradaki amaç, elmas taneciklerin sertliğini ölçmektir. Elmas taneciklerinin dayanıklılık ölçümü aynı zamanda bu taneciklerin kalitesini belirtmektedir [1].

En büyük elmas üreticisi ve pazarlayıcısı olan De Beers firması, ürettiği elmas tiplerini üç ayrı kategoride toplamıştır [1].

a) SDA Boyutu: 250 μm (60 US Mesh)' den daha iri tane boyutuna, düzgün kübik oktahedral kristal yapısına ve ayrıca en yüksek dayanım ve aşınma direnci için ideal boyutlara sahiptir. SDA 100 ve SDA 100+ serisi sert kayaçların verimli kesilmesi için ideal boyuttadır. SDA 85 ve SDA 85+ orta sertlikte ve aşındırma özelliğine sahip kayaçlarda kullanılabilen ve çok geniş bir kullanım alanına sahip olan aşındırıcılardır [1].

b) MDA Boyutu: Bu boyutlu elmaslar, SDA sınıfındaki şekil ve dayanım özelliklerine benzer özellikler taşır. Ancak, 250 μm 'den daha küçük boyutlardadır.

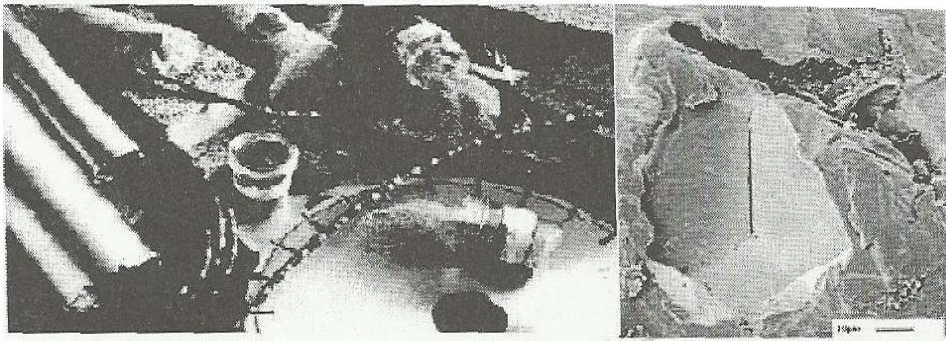
Bu nedenle daha ince yüzey işlemleri gerektiren taşlama, öğütme işlemlerinde de kullanılabilirler [1].

c) Doğal Boyutlar: Doğal elmas aşındırıcılarının sentetik elmas aşındırıcılara göre avantajları vardır. Doğal elmas aşındırıcılarının daha hızlı kesim yapmaları, temas edilen kayaç yüzeyinin daha geniş bir alana sahip olması, bu avantajlar arasında sayılabilir. Değişik boyutta olabilirler, ancak çok zor bulunmaları ve çok pahalı olmaları kullanımlarında sorun oluşturmaktadır [1].

Elmas boncuk yapımında gerekli malzemeler elmas boncuğun ana gövdesini oluşturan a) çelik yüzük gövdesi ve b) elması gövdeye rapteden matriks tozudur [1].

Çelik yüzük gövdesi: Silindirik yapıda olan bu gövde normal çelikten çok daha sert ve matriksle uyumlu olmalıdır. Aksi takdirde imalat aşamasında daralma, kullanım aşamasında ise çap genişlemesi söz konusu olacaktır [1].

Matriks tozu: Çeşitli oranlarda kobalt, bakır, bronz, karbit, çelik, çinko ve nikel dahil yaklaşık 30 değişik madde içeren karışımdır. Elmas tozu üretilcek elmas boncuğun özelliğine uygun boyda olmalıdır [1].



Şekil 5.1 : Elmas tozu ve elmas taneciğinin boncuk üzerinde görüntüsü [1].

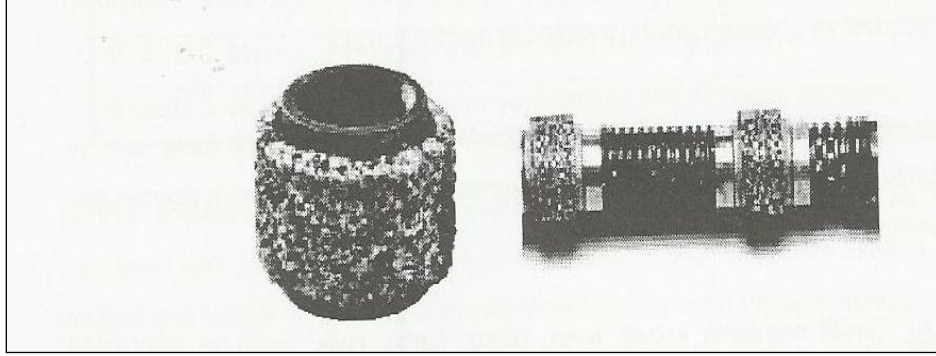
5.1 Elmas Boncukların Üretimi

Elmas boncukların yapımı genelde aşağıda belirtildiği gibi yapılmaktadır.

Elektrolitik kaplamalı elmas boncuk imalatı: Çelik yüzükler yuvalarına yerleştirilir ve matriks yapı ile kaplanır. Yüksek ısıya tabi tutularak matriksin yüzüğe kaynaklanması sağlanır. Yüksek ısıda yarı eriyik durumda olan matriks'in üzerine yüksek basınçla elmas tanecikleri püskürtülür. Elmas boncuklar genel olarak kullanıcıları yere göre 0,35-1,2 karat arası elmas tozu içerirler. Elmas boncuklar soğumaya bırakılırlar. Bu aşamada sonra kalite kontrolden geçirilir ve kullanıma

sunulur. Burada elmas taneciklerinin kalitesi kadar matriks yapının sağlamlığı da önemlidir. Matriks yapı ne kadar sağlam olursa elmas taneciklerini o kadar sağlam tutacak ve elmas tanecikleri ömrünü bitirmeden matriksten kopamayacaktır. Matriks elmas taneciği yeterince sıkı tutamadığı takdirde elmas tanecikler ömrünü tamamlamadan boncuktan kopacaktır.

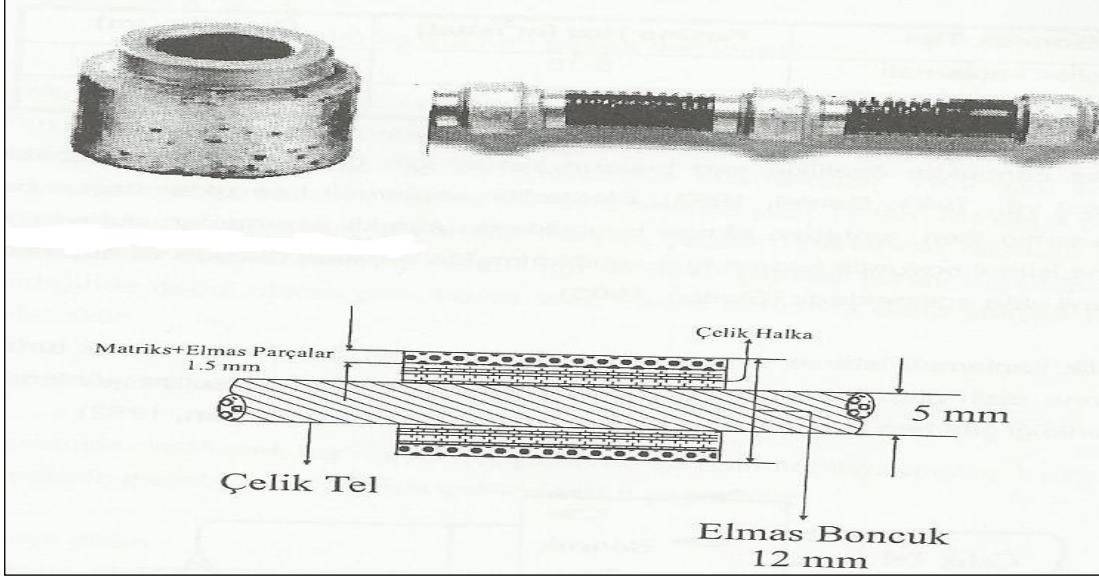
Şekil 5.2'de elektrolitik kaplamalı elmas boncuk ve çelik tel üzerindeki görüntüsü verilmiştir [1].



Şekil 5.2 : Elektrolitik kaplamalı elmas boncuk [1].

Sinterize elmas boncuk imalatı: İçinde her bir elmas boncuk için ayrı yuva bulunan yüksek ısıya dayanıklı tepsinin içine çelik yüzükler yerleştirilir. Matriks tozu ağırlığıyla orantılı olarak uygun boydaki elmas taneleriyle harmanlanır. Harmanlama işlemi çok özel bir teknikle yapılır. Aksi takdirde elmas taneciklerinin boncuklara eşit oranda dağılımı mümkün olmayacaktır. Elmas tozlarıyla harmanlanan matriks pres makinası üzerindeki kovaya dökülür. Pres makinası çalıştırılır, elmas tozlarıyla harmanlanmış matriks pres kovasından belirlenen ağırlığa gelene kadar hazneye dökülür. Belirli ağırlığa ulaşınca hazne kapanır ve yüksek basınçlı bir presleme işlemine tabi tutulan yapı halka şeklinde pres makinasından çıkar. Bu halkalar tek tek el değmeden kalite kontrolden geçirilir. Kalite kontrolden geçemeyen halkalar tekrar toz haline getirilmek üzere ayrılır. Tepside çelik yüzüklerin dış yüzeyine kaynaklamanın kalitesini artırmak için ayrıca bir madde tatbik edilir. Kalite kontrolden geçen halkalar tepsideki çelik yüzüklere geçirilir. Bu tepsiler yüksek ısıli fırınlara sürülerek 1000-1200 °C'ye kadar ısıtılır. Bu aşamda halka halindeki matriks yapı kendini çekerek daha önce yüzeye sürülen maddenin de etkisiyle tam bir kaynaklama sağlamış olur. Matriks yapının bu esnada kendi içinde eriyerek preslenmiş toz halinden katı yapıya dönüşür. Fırın kapatılarak kendi halinde soğumaya bırakılır. Tekrar kalite kontrolden geçer. Burada kalite kontrolden

geçemeyen elmas boncukların geri dönüşü mümkün değildir. Kaynaklama makinasına atılarak yüksek ısı püskürtme kaynağına tabi tutulur. Böylece son işlem de tamamlanmış olur. Son kez kalite kontrolden geçirilerek kullanıma sunulur. **Şekil 5.3**'de sinterize elmas boncuk ve tel üzerindeki görüntüsü ve şematik görüntüsü verilmiştir [1].



Şekil 5.3 : Sinterize elmas boncuk ve tipik kesit görünümü [1].

Kimyasal yapıştırırmalı boncuk imalatı: Çelik yüzük gövdesi üzeri ısı ile kimyasal reaksiyona girecek matriks bir yapı ile kaplanır. Aynı boydaki elmas tanecikler düzenli olarak matriksin üzerine yerleştirilir. İkinci bir ince matriks yapıyla kaplanır. Yüksek ısı altında matriks yapı yüzükle ve elmaslarla kimyasal reaksiyona girerek yapışma işlemi (kaynaklama) tamamlanır. Kalite kontrolden geçirilerek kullanıma sunulur [1].

Her üç sistemde de ortası delik ya da üretimden sonra delinebilen iki tip çelik yüzük kullanılabilir. Yalnız sonradan delme işleminde yüzüğün çevre kalınlıklarında orantısızlıklar olabilmektedir. Bu da kullanım esnasında elmas boncuğun dönüşünü engeller ve tek taraflı aşınmaya sebep olur [1].

Daha yeni bir teknik olan sinterize tipi elmas boncuk ile elektrolitik kaplamalı boncuk arasındaki verimlilik karşılaştırılması doğal taş blok kesimi için **Çizelge 5.1**'de verilmektedir [1].

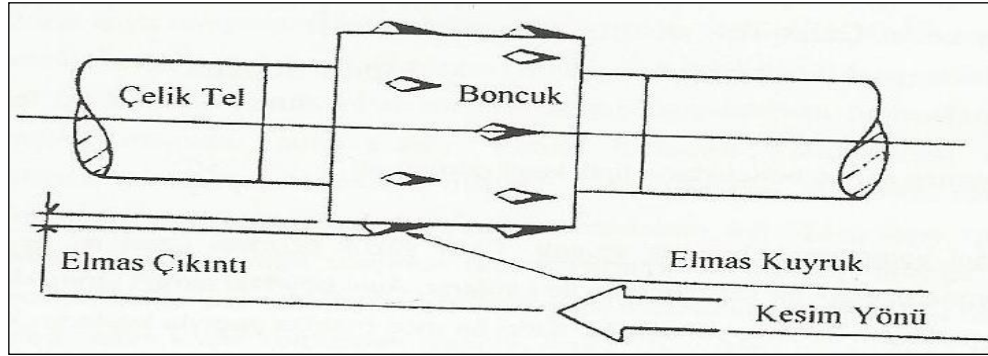
Sinterize elmas boncuklar özellikle sert taşların kesimi için daha uygundur. Elektrolitik kaplamalı boncuklar düşük bir lineer kesme hızına sahipken, sinterize

elmas boncuklarda sürekli aşınmadan dolayı (homojen aşınma) kesme işlemi boyunca kesme hızı sabit kalmakta ve daha düzgün ve hırpalanmamış bir kesim yüzeyi elde edilmektedir [1].

Çizelge 5.1 : Elmas boncuk tiplerinin kesme hızı ve ömürlerinin karşılaştırılması [1].

Boncuk Tipi	Kesme Hızı (m ² /saat)	Kesme Ömrü (m ² /m)
Elektrolitik kaplamalı	8-16	20-35
Sinterize	6-8	30-50

İster elektrolitik kaplamalı ister sinterize boncuk olsun her iki elmas boncuk türünde de, çelik tel üzerine dizili olan boncuklar üzerindeki elmas taneciklerinin kesim yönlerinin **Şekil 5.4**'de gösterildiği gibi hep aynı olması gerekir [1].



Şekil 5.4 : Elmas boncukların kesme pozisyonları [1].

5.2 Toz Metalurjisiyle Parça Üretimi

Toz metalurjisinin ilk aşaması toz seçimidir. İstenilen kaliteye göre toz seçimi önemli parametrelerden biridir. Bu yüzden toz üretimi ve tozdaki özelliklerin belirlenmesi önemlidir. Üretilen tozda tane iriliği, tane şekli, oksitlenme direnci, akıcılığı önemlidir. T/M de üretimin ekonomik olması istenir. Genellikle soğuk preslemeden sonra vakum ortamında veya kontrollü atmosferde ısıtma işlemiyle sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Sinterlemeden sonra tozlara sıcak dövmeyle istenilen özellikler kazandırılır. Gerekli durumlarda talaşlı imalat da uygulanabilir [8].

Toz Metalurjisi ile üretilen malzemelerde bir miktar gözenek (porozite) bulunur. Tozların preslenmesi sırasında presleme basıncı arttıkça tozların temas yüzey alanı artacağından porozite azalır. Ayrıca T/M ile üretilen parçalarda porozite miktarı

düşükçe mukavemet değerleri de artar. T/M yöntemiyle işlem aşamaları aşağıda kısaca açıklanmıştır [8].

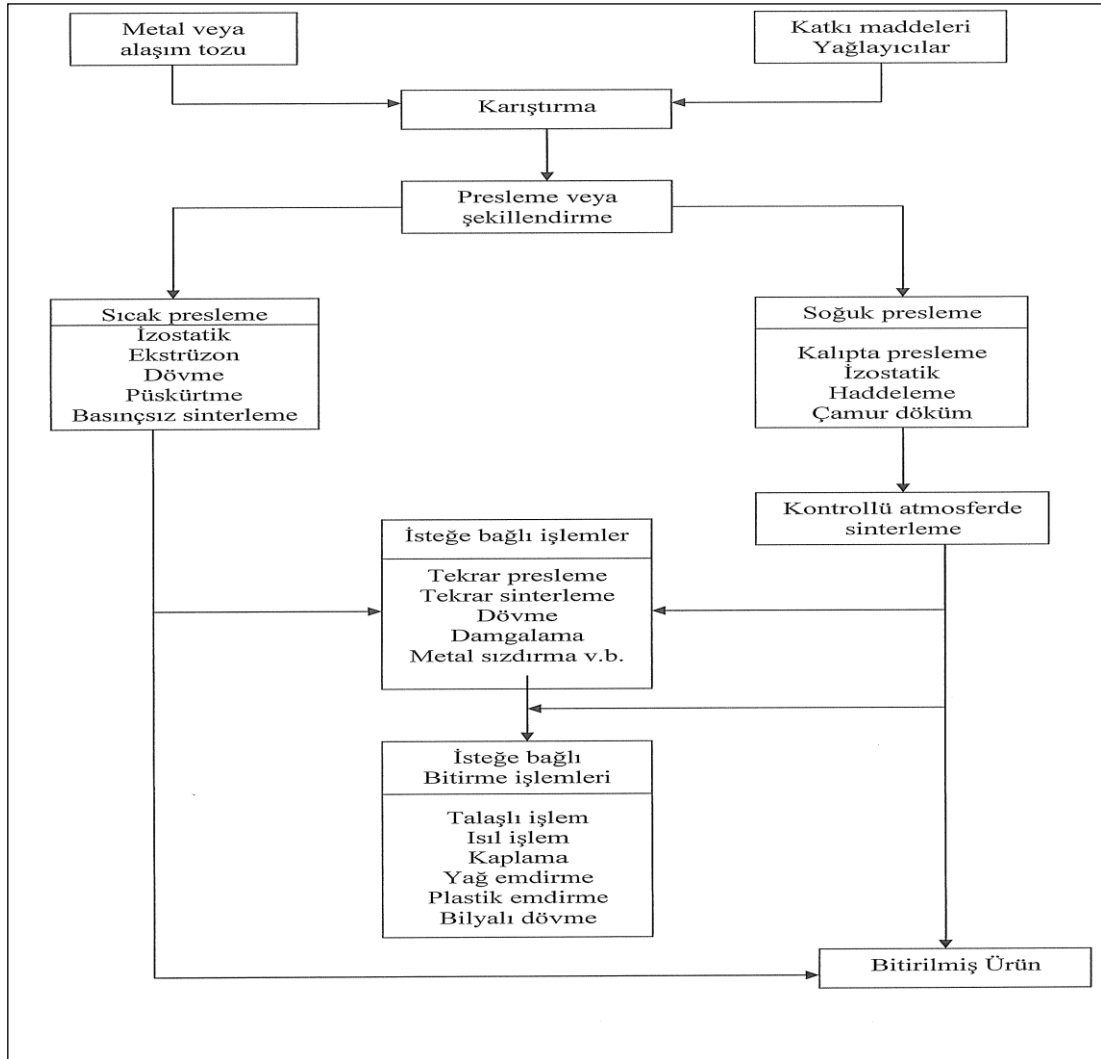
Karıştırma veya Harmanlama: İstenilen boyut, şekil ve bileşimindeki tozların yağlayıcı veya bağlayıcı katkılarla ve alaşım elementi tozlarıyla karıştırılması işlemidir. Bu işlem özel karıştırıcılarda homojen bir karışım elde edilinceye kadar sürdürülür. Harmanlamada farklı boyutta tozlar karıştırılarak homojen bir karışım oluşturması sağlanır [8].

Şekillendirme: Toz karışımı dayanıklı bir kap içerisinde istenilen şekil ve boyutta karıştırılır. Böylece toz kütleinin yeterli yoğunluk ve mukavemette şekillendirilmesi sağlanır. Sıkıştırma basıncı 0-800 MPa arasında değişir [8].

Sinterleme: Parçaların kontrollü atmosferde ana bileşenin ergime noktasının 1/3'ü kadar altında tutulmasıdır. Bu kademedede toz parçacıkları arasında kimyasal bağ, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi gözlenir. Sinterlenmenin kontrollü atmosferde yapılması oksitlenmeyi önlediği gibi tozların çevresiyle reaksiyona girmesini de önler. Bu kademedede parçanın mukavemet ve yoğunluğu büyük ölçüde artar [8].

Sinterleme sonrası işlemler: T/M parçası sinterden sonra genellikle kullanıma hazırdır. Ekonomik bakımdan arzu edilmese de sinterleme sonrası işlemlere de arzu duyulabilir. Sinter sonrası istenilen yüzey, boyut, yoğunluk hassasiyetini sağlamak amacıyla farklı kalıpta yapılan sıkıştırma işlemine kalibrasyon veya yeniden sinterleme denir. T/M parçasının içine gözenekleri doldurmak amacıyla yağ plastik doldurabilir. Düşük ergime noktalı metal gözeneklere emdirilerek yoğunluk, mukavemet, sertlik, tokluk, süneklik özelliklerinde iyileşme sağlanabilir. Talaş kaldırma sırasında fazla sivri olmayan takımlar, yüksek hızlar, düşük talaş kalınlığı, uçucu özelliği olan soğutucular kullanılmalıdır. Kaplama işlemi yapılmadan önce yüzeydeki gözenekler reçineyle veya deformasyonla kapatılarak tuz banyosunun gözeneklere dolması engellenir ve standart kaplama yöntemleri uygulanır. Buhar işlemi ile demir asıllı parçaların yüzeyleri manyetik demir oksitle kaplanarak aşınma direnci, korozyon direnci, sertlik, basma mukavemeti gibi değerleri artırılır. İşlem 600 °C de kuru basınçlı buharın parçalara uygulanmasıyla yapılır. Isıl işlemler standart şekilde uygulanabilir. Düşük yoğunluklu parçaların ısıl işlemi sırasında işlem atmosferi gözenekler vasıtasıyla parçaların iç yapısına kadar nüfuz eder. Kaynak işlemleri diğer parçalardaki gibi uygulanabilir. Bakır ve Bakır asıllı alaşım

sızdırılmış, yüksek yoğunluklu parçalar başarıyla pirinç kaynağı ve lehim yapılabilir. Yukarıda açıklanan bu işlemler **Şekil 5.5**'de verilmiştir [8].



Şekil 5.5 : T/M yöntemiyle parça üretiminde akış diyagramı [8].

T/M Yönteminin Üstünlükleri :

- Talaşlı imalata gereksinim azaltılır.
- Ergitme kayıpları yoktur.
- Dar toleranslarda düzgün yüzeyli parçalar elde edilebilir.
- Yoğunluk ve ergime noktasındaki farklılıklar nedeniyle başka yöntemlerle imali mümkün olmayan alaşım veya karışımlar imal edilebilir.
- Aşınma direncini artırmak için yüzeye yağ emdirilebilir.
- Hızlı katılaştırılmış toz üretilebilir.
- Seri imalata uygundur [8].

T/M Yönteminin Sakıncaları :

- Tozların kalıp içindeki akışı sınırlıdır. Bu nedenle üretilecek parça şekli kısıtlayıcı olabilir.
- Karmaşık şekilli parçaların yoğunluğu her yerde aynı olmayabilir.
- Üretilen parçaların mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için ek işlemler gerekebilir.
- Metal tozları ingot halindeki malzemelerden daha pahalıdır.
- Seri üretim yapılmazsa üretim ekonomik değildir.
- Boyut toleransları talaşlı işleme göre biraz daha kabadır [8].

5.2.1 Sinterleme

Sıkıştırılmış ham parçanın mukavemeti çok düşüktür. Ham mukavemetten beklenen, kalıptan sağlamca çıkartılabilme ve bazı işlemlere müsaade etmesidir. Ham parça hiçbir zaman yük taşıyacak bir mukavemete sahip değildir. Bu nedenle değişik yöntemlerle şekillendirilen tozların sinterlenmesi gerekir. Isıtmadan dolayı parçacıklar birbirine bağlanır ve parçanın dayanımı artar [9].

Şekillendirilmiş toz karışımının ana bileşeninin, ergime sıcaklığının altında ısıtılması ile tozlar arasında bağ oluşturulması işlemine sinterleme adı verilir. Sinterlemenin itici gücü toplam yüzey alanının azaltılması ile sistemin toplam serbest enerjisinin azaltılmasıdır. Sinterleme sıcaklığı malzemeden malzemeye değişiklik gösterir [9].

Sinterleme, sıkıştırılmış toz kütesinin belirli özelliklerde dayanıklı malzemeye dönüştüğü, bir ısı işlemi olarak da tarif edilir. Sinterleme sonucunda üretilecek parça son şeklini alır ve bir çok yeni özellikler kazanır [9]. Sinterlemenin temel sebebi, endüstrinin birincil olarak ilgilendiği, sertlik, mukavemet, yorulma ömrü, elektrikletkenliği, ısı genleşme, manyetik doygunluk ve korozyon direnci gibi parça özelliklerini iyileştirmektir [9].

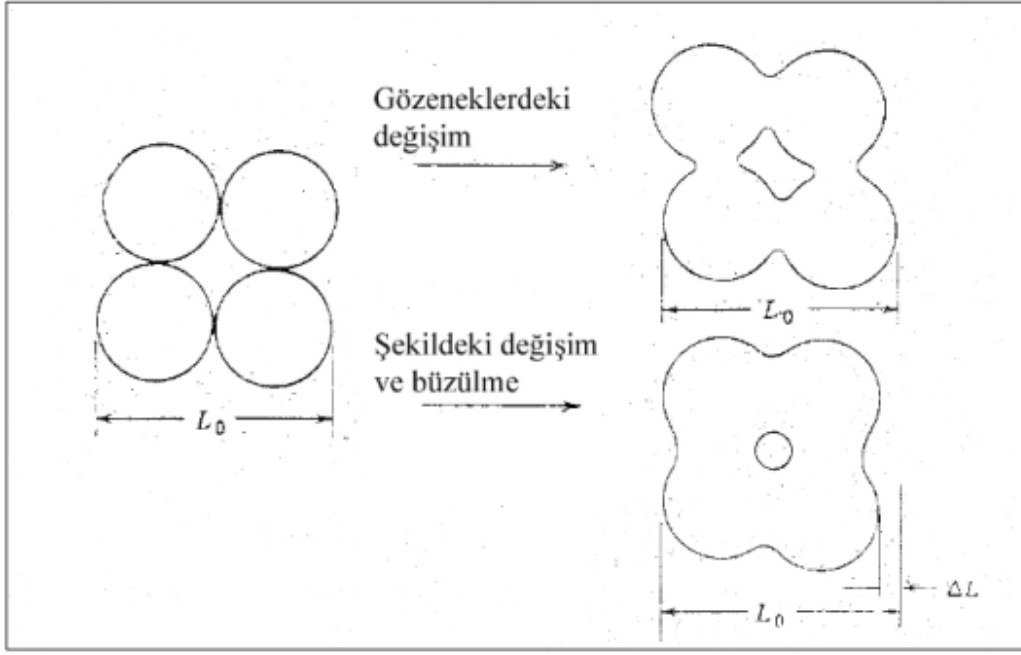
Sinterleme işlemi sıkıştırılmış toz kütleler zayıf olduğundan ürüne gereken bu özellikleri kazandırmak için uygulanır. Sinterleme, yüksek sıkıştırılabilirliği olan parçacıklarda düşük sıcaklıkta uygulandığında sıfır boyutsal değişim elde edilebilir. Dolayısıyla bağ oluşumu herhangi bir büzümeye veya yoğunlaşmaya sebep olmadığından yüksek kesinliğe ulaşılır. Seramik malzemelerde sıkıştırılabilirliğin az olması preslemede yüksek yoğunluğa çıkılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle büzüşmenin olduğu yüksek sıcaklıkta sinterleme yapılması bu maddeler için

uygundur. Dahası bu tür malzemelerde kalan gözenekler çatlak gibi davranarak dayanımını zamanla azaltır. Sonuç olarak, mekanik özelliklerin iyi olması için tam yoğunluğa ulaşılmak istenir [9].

Tozlar, şekillendirme esnasında sıkışarak malzemedeki porozite miktarı bir miktar azalır. Kuruma ile de tozlar tamamen birbiri ile temas haline gelir. Ancak, malzeme henüz kompakt hale gelmemiştir. Tozlar arasında boşluklar mevcuttur. Pişme esnasında, difüzyon hızlandığından birbiri ile temas halinde olan tozlar arasında özellikle yüzeyde yer alan karşılıklı atom difüzyonu sonucu tozlar birbirine aralarında boyun oluşturarak kenetlenir. Böylece, porozite miktarı azalır ve yoğunlaşma sağlanır. Bu esnada gözeneklerin şekilleri de küreleşir. İdeal bir sinterleşme sonunda porozite tamamen ortadan kalkar ve malzeme kompakt bir kitle haline gelir. **Şekil 5.6**'da sinterleşme esnasında tozların birbirine kenetlenmesi ve porozite miktarı ile gözenek morfolojisinin değişimi görülmektedir.

Sinter bağı parçacıklar arasında boyun verme ile belirginleşir. Sinterleme esnasında parçacıklar atomik düzeyde yüzey enerjisini azaltmak için bir araya gelirler. Böylece ilk bakışta yüzey enerjisinin ve atomik hareketliliğin sinterleme hızını etkilediğini söyleyebiliriz. Sinterlemeyi artıran faktörlerden birisi parçacıkların küçük olması, bir diğeri ise sıcaklıktır. Yüksek sıcaklıklarda, aktif atom sayısı sıcaklıkla doğru orantılı olarak artacağından sinterleme hızı artar. Sıcaklık, parçacık boyutu, basınç, sinterleme süresi, ısıtma hızı, atmosfer sinterlemeyi etkileyen önemli faktörlerdendir. Birçok sinterleme işlemi sinterlemeden önce malzemedeki oluşan hataları büyütür. Dolayısıyla sinterlemeden önce hataları tespit etmek önemlidir. Ancak çoğu zaman bu hatalar sinterlemeden önce fark edilmez, sinterlemeyle belirgin hale gelir. Üretimin daha ekonomik olması için katkı maddeleri kullanılır. Böylece istenen mikroyapıya ve özelliklere daha kolay ulaşılabilir [9].

Sinterleme mekanizması, tamamen malzemenin taşımına dayanır ve başlıca, atomların yayınması (yüzey ve hacimsel) ile viskoz akışı kapsar. Malzemenin taşınımını kolaylaştırmak için işlem ancak yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilir. Sinterleşmeyi sağlayan itici güç, serbest yüzey enerjisindeki azalmadır. Sinterleme ile yoğunlaşmanın sağlanması değişik şekillerde yapılabilir. Bunlar **Çizelge 5.2**'de özetlenmiştir [9].



Şekil 5.6 : Tozların birbirine kenetlenmesi ve gözenek morfolojisinin değişimi [9].

Çizelge 5.2 : Sinterleme mekanizmaları [9].

Sinterleme Tipi	Taşıyım Mekanizması	İtici Enerji
Buhar Fazı	Buharlaşıma/Süblümasyon	Buhar basıncındaki fark
Katı-Hal	Yayınma	Serbest enerjideki fark
Sıvı faz	Viskoz akış, yayınma	Yüzey gerilmesi, kapiler basınç
Reaktif faz	Viskoz akış, yayınma	Yüzey gerilmesi, kapiler basınç

5.2.1.1. Sinterlemenin aşamaları

Çizelge 5.3'de sinterlemenin genel olarak aşamaları görülmektedir. Çizelgede kısaca açıklandığı gibi sinterleme, tozların şekillendirildikten sonra birbirine temasıyla başlar. Tozlar üretime bağlı olarak sadece temas halinde ya da birbirlerine yapışmış ve deformasyona uğramış olabilir. Sinterlemenin ilk aşamasında boyun verme oluşur ve yüzey alanı önemli ölçüde azalır [9].

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi gözenek yapısı yuvarlaştıkça ayrı ayrı parçalar gibi duran taneler daha bütünleşik bir görünüm sergiler. Orta aşamada gözenekler yüzeye açık ince çubuk şeklinde olduğundan buralarda bünyedeki gaz atmosfere yayılabilir. Bu genelde istenmeyen bir durumdur [9].

Çizelge 5.3: Sinterlemenin aşamaları [9].

Aşama	Süreç	Yüzey Alan Kaybı	Yoğunlaşma	Tane Büyümesi
Yapışma	Temas oluşması	En az düzeyde (Çok yüksek basınçta şekillendirilmedikçe)	Yok	Yok
Başlangıç	Boyun Büyümesi	Önemli ölçüde (% 50 ye kadar kayıp)	Başlangıçta küçük (az)	En az düzeyde
Orta	Gözeneklerin yuvarlakması ve uzaması	Açık gözeneklerin çoğu kaybolur	Önemli ölçüde	Tane boyutu büyür
Son	Gözeneklerin kapanması ve maksimum yoğunluk	İhmal edilebilir	Çok az	Tane büyümesi çok fazla

Bu nedenle yapılan çalışmaya bağlı olarak sinterleme bu aşamada da bırakılabilir. Son aşamada gözenekler küçülür ve yoğunluk artar. Gözenekler yuvarlaklaşır. Kompak yüzeye açık olmadığından yüzeye açık olmayan gözeneklere kapalı gözenekler denir. Bu aşamada tane büyümesi çok hızlı olur. Malzemeye ve kazandırılmak istenen özelliklere göre sinterleme istenen aşamaya kadar yapılabilir. Gözenekli yapılarda genellikle orta aşamanın sonunda sinterleme sonlandırılır [9].

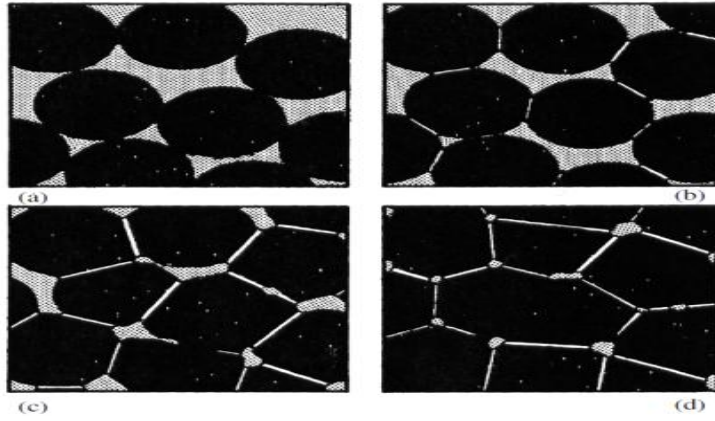
5.2.1.2. Sinterleme Çesitleri

Uygulamada birçok sinterleme yöntemine rastlamak mümkündür. Sinterleme işleminin çesitleri **Şekil 5.8**'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Basınçla uygulanan sinterleme ve basınçsız ortamda yapılan sinterleme olarak sinterleme tekniklerini temelde ikiye ayırmak mümkündür.

Çogu sinterleme yöntemi temelde basınçsız uygulanır. Basıncılı sinterleme yeni bir yöntemdir. Bu yöntemle kalan gözenekler daha da küçülmektedir [9]. Katı halde sinterleme, yayınma ile malzeme taşınımını içerir.

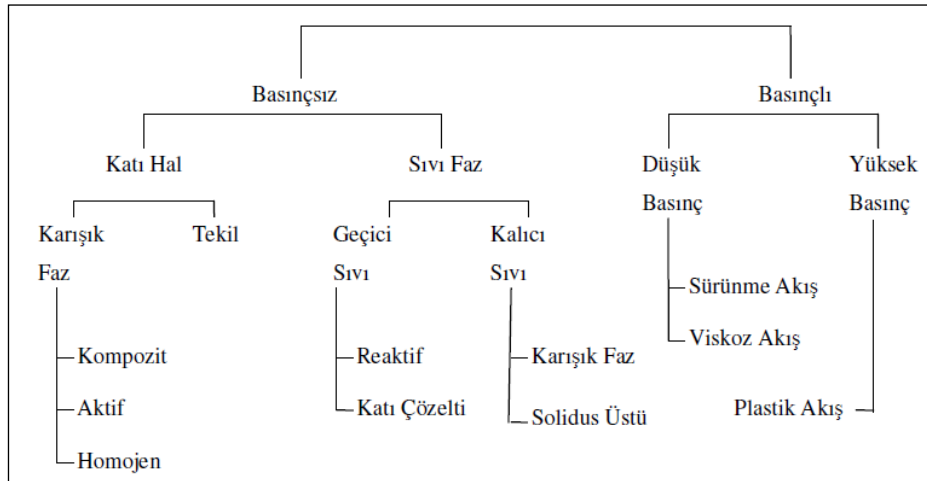
Bu işlem için gerekli itici güç, boyun bölgesi ile tozun yüzeyi arasında meydana gelen serbest enerji veya kimyasal potansiyel farkıdır. **Şekil 5.9**'da katı hal sinterlemesinde malzemenin taşınımı şematik olarak görülmektedir. Atomların yayınması ile atom boşluklarının yayınması zıt yöndedir.



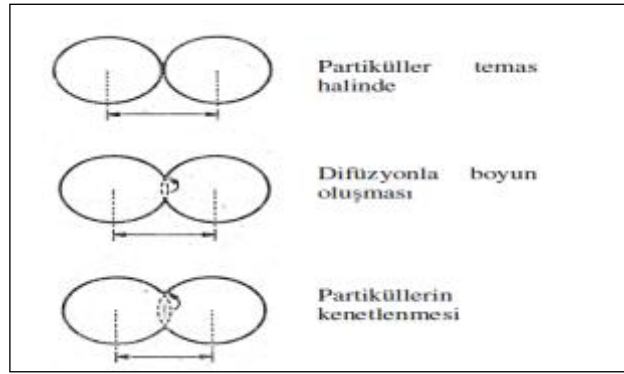
Şekil 5.7 : Sinterleme aşamalarında tozlar arası bağlanmanın gelişimi ve sinterleme sırasındaki yapısal değişiklikler a) gevşek toz b) ilk aşama c) orta aşama d) son aşama [9].

Boyun bölgesi, atom boşlukları için kaynak ve tozların yüzeyleri de göç bölgesidir. Sıvı faz sinterlemesi endüstride maliyet ve üretim kolaylığı avantajlarından dolayı çoğunlukla tercih edilmektedir [8].

Bu yöntemde sıvı faz kütle transferini, yoğunlaşmayı, mikroyapı genişlemesini hızlandırır. Kalıcı ve geçici olmak üzere iki çeşidi vardır. Kalıcı sıvı faz sinterlemede önceden alaşımlanmış tozlar ısıtılınca birisi sıvı faza dönüşür ve sıvı faz sinterlemenin yüksek sıcaklık kısmında kalıcı olur. Geçici sıvı faz sinterlemesinde ise sıvı faz katının içinde çözünmesinden dolayı yeni bir faz oluşturur dolayısıyla yok olur [8].



Şekil 5.8 : Sinterleme işlemi çeşitleri [8].



Şekil 5.9 : Sinterleme esnasında, katı-hal malzeme taşınımı sonucu, boyun teşekkülü ile tozların kenetlenmesi [8].

5.2.1.3. Sıvı faz sinterlemesi

Günümüzde porselen, diş porselenleri, otomobil bağlantı elemanları, kesme araçları, refraktör seramikler gibi bir çok ürün sıvı faz sinterlemesi ile üretilir. Sıvı faz sinterlemesi kaliteli parça üretiminin uygun bir yoludur. Sinterleme sırasında oluşan sıvı faz kapiler etki ile parçacıklara yeterli iç basınç uyguladığından dış basınca gerek yoktur. Kapiler kuvvet büyük miktarda dış basınca eşit etki yapar [9].

Sıvı faz sinterlemesi bazı özelliklere sahip çok bileşenli sistemlere uygulanabilmektedir. Sinterleme işleminin herhangi bir safhasında oluşan sıvı faz, gözenekleri doldurarak yayılımı ve yoğunluk artışını hızlandırmaktadır. Yüksek performansta parça üretimi günümüzde önemli olduğu için sıvı faz sinterlemesi gibi teknikler malzeme mühendisliği için önerilmektedir [9].

Sıvı faz sinterlemesinde sıvı faz oluşumu için iki ana mekanizma vardır. Bunlardan birincisi, farklı kimyasal bileşimlerde toz karışımı kullanmaktır. Sinterleme sırasında farklı bileşimdeki tozların etkileşimi sonucunda sıvı faz oluşur. İkincisi ise sıvı fazın toz karışımında bulunan bileşenlerden bir tanesinin ergimesi veya ötektik faz oluşumu ile oluşmasıdır. Sıvı faz sinterlemesini;

- 1) Geçici sıvı faz sinterlemesi
- 2) Sürekli sıvı faz sinterlemesi
- 3) Solidüs üstü sinterleme
- 4) Reaksiyonlu sinterleme olarak dörde ayırabiliriz [8].

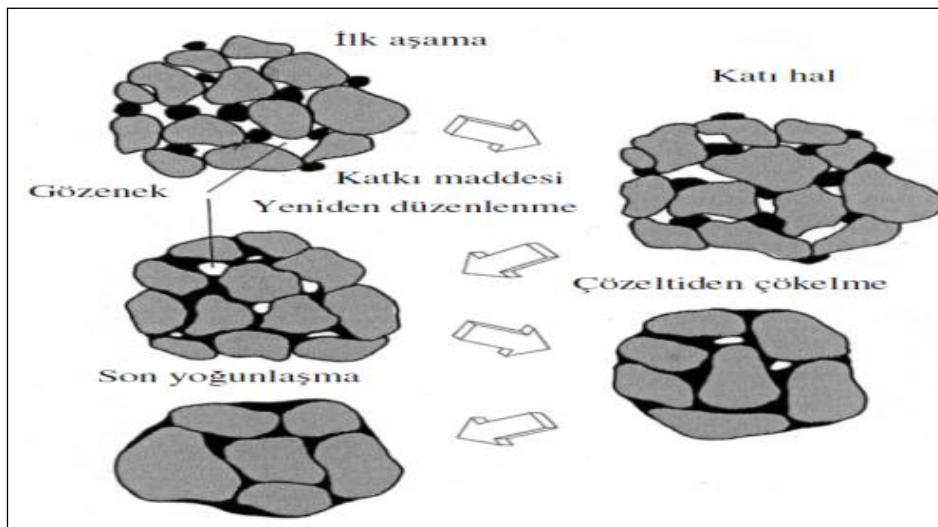
Bu sınıflandırmada, oluşan sıvı fazın çözünme durumuna göre sinterleme sırasında alaşım oluşumu ile ortadan kalkması (geçici SFS veya reaktif sinterleme) veya sinterleme süresince iç yapıda sürekli olarak bulunabilmesi (sürekli SFS) göz önünde

bulundurulur. Farklı bir yöntemde ön alaşımlı tozun katı – sıvı sıcaklığı arasında sinterlenmesi suretiyle sıvı + katı karışımı oluşturarak yapılan solidus üstü sinterlemedir [9].

Sıvı faz sinterleme yoğunlaşması belirli aşamalarda olur. **Şekil 5.10** bu aşamaları göstermektedir.

Baslangıçta tozlar kompakt halde yalnızca temas halinde durmaktadır. Sıvı faz sıcaklığına kadar ısıtılır. Bu ısıtma esnasında katı faz sinterlemesi oluşur. Bir çok sistemde bu katı faz sinterlemesi sıvı faz oluşmadan önce büyük bir yoğunluğa yol açar. Bundan sonraki yoğunlaşma bulunan sıvı miktarına bağlıdır. Sıvı oluşuktan sonra yoğunlaşma 3 aşamada olur. Yeniden düzenlenme, çözeltilin yeniden çökmesi, son aşama sinterlemesi. Yeterli miktarda sıvı varsa tam yoğunlaşmaya ulaşılabilir. Sıvı miktarı düşükse katı yapı çözelti çökmesini engeller. Son kalan gözenekler iskelet yapının katı faz sinterlemesi ile elimine edilir [9].

Islatan sıvılar için katı-sıvı yüzey enerjisi katı-gaz yüzey enerjisinden daha azdır. Bu da toplam yüzey enerjisinin düşmesine neden olur. Yeniden düzenlenme esnasında viskoziteden dolayı kapiler hareketler engellenir. Bu da gözenekli yapının azaltılması ile viskozitenin artmasına zamanla yoğunlaşmanın azalmasına neden olur. Bu esnada yeterli sıvı oluşmuşsa tam yoğunluk mümkündür. Ancak yeniden düzenlenme tanelerin birbirine dokunmasından ve katı faz yayınımdan dolayı engellenir. Yeniden düzenlenme esnasında yoğunlaşma yavaşladıkça çözünürlük ve yayılım daha baskın hale gelir. Bu ikinci aşamaya çözeltiden çökme denir. Bunun sonucunda büyük taneler daha da büyür küçük taneler ortadan kalkar.

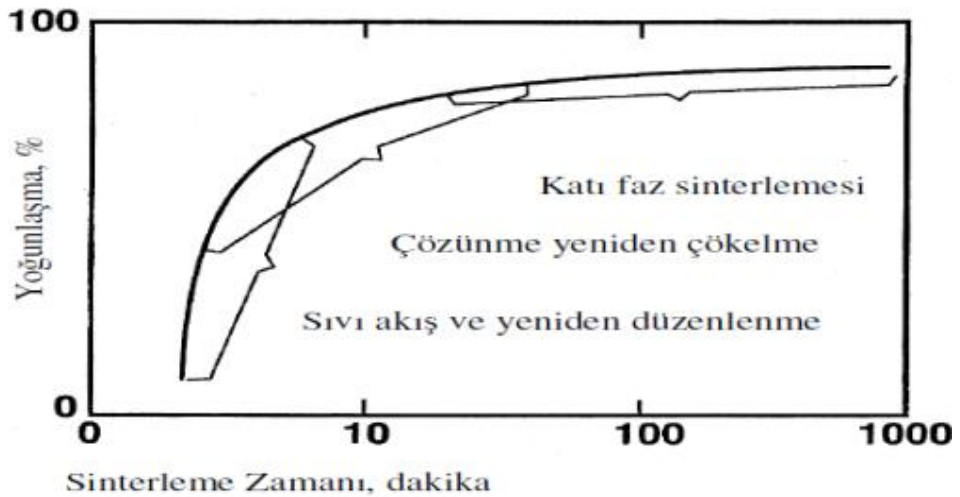


Şekil 5.10 : Sıvı faz sinterlemesinin aşamaları [9].

Sonuç olarak tane boyutu büyürken tane sayısı azalır. Çözelti çökmesi büyüyen tanelerin boşluğu daha iyi doldurmasından dolayı sadece tane büyümesine değil, yoğunlaşmaya da neden olur [9].

Sıvı faz sinterlemesinin son aşaması katı yapının yoğunlaşması ile belirlenir. Yoğunlaşma yavaştır, çünkü birbirine değen katı taneler vardır. Son aşamada baskın olan birbirine değen katı tanelerin yoğunlaşması katı faz sinterlemesi başlangıçta da vardır. Ancak bu kadar etkin değildir. Mikroyapı genişlemesi devam eder ve kalan gözeneklerin içinde gaz varsa kompığın önceki aşamaya göre genişlemesine neden olur. Son aşama uzun tutulursa malzemenin özellikleri bozulur. Bu nedenle uygulamada kısa sinterleme süresi tercih edilir. **Şekil 5.11**'de zamanla yoğunlaşma arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yeniden düzenlenme çok hızlı olurken katı-faz sinterleme fazı oldukça yavaştır. Burada zaman ölçeği yaklaşık olarak verilmiştir. Yoğunlaşma seviyesi sıvı miktarına da bağlı olduğundan bu şeklin farklı varyasyonlarını görmek mümkündür [9].

Şekil 5.12 farklı sıcaklıklarda sinterleme zamanının bir fonksiyonu olarak gerçek yoğunluğunun değişimini sıvı faz sinterlemesinin aşamalarında göstermiştir. Şekilde yoğunlaştırma işlemleri aşama I, II, III olarak gösterilen üç farklı denetim mekanizmasına bölünmüştür. Yoğunlaştırma için en önemli fiziksel ve kimyasal işlemler erime ve ıslanma yanında, katı ve sıvı arasındaki tepkimelerdir.



Şekil 5.11 : Sinterleme aşamalarının zamanla ilişkisi [9].

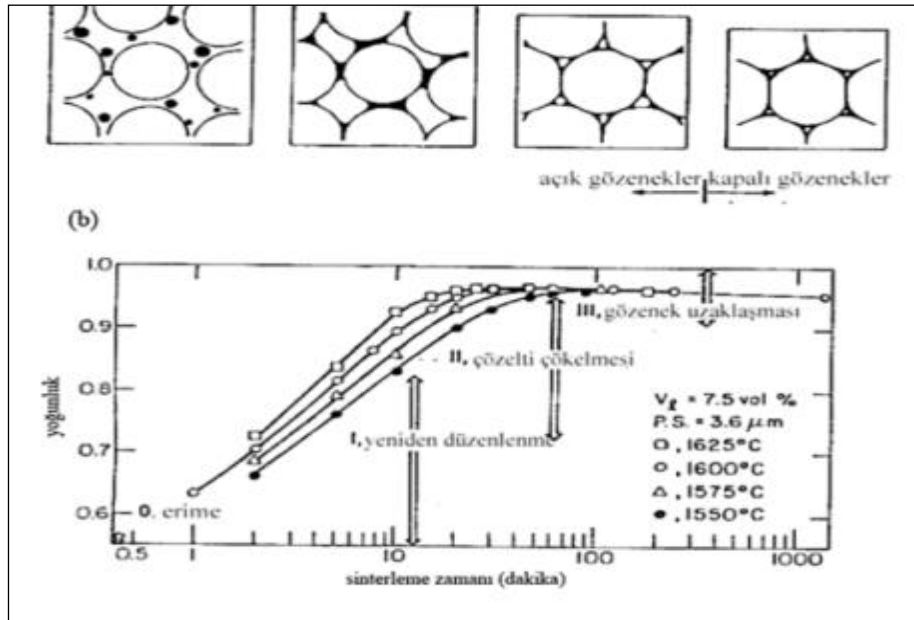
Sıfırıncı aşama kısa sürer ve oluşan yoğunlaştırma ihmal edilecek kadar küçüktür. Yoğunluğun artması ile birlikte yoğunlaşmayı denetleyen mekanizma tekrar düzenleme aşamasından (I. aşama) çözültiden çökme (II. aşama) aşamasına kadar

giderek gelişir ve son olarak da gözenek uzaklaşır (III. aşama). **Şekil 5.11**'de görüleceği gibi sıkıştırılmış toz kütlelerinin sinterleme aşamaları arasındaki eğride belirli bir yer çakışmaktadır. Genelde sinterleme işlemi ilerledikçe yoğunlaşma oranı önemli bir miktar azalır. Tipik olarak 10^3 s'den 10^6 s'ye bir azalma gözlenir. Sıvı faz sinterlemesinin sonlarında sinterleme süresi uzadıkça sinterlenmeme gözlenir. Sinterleme zamanının uzaması ile birlikte yoğunlaşmanın miktarı sabitlenir [9].

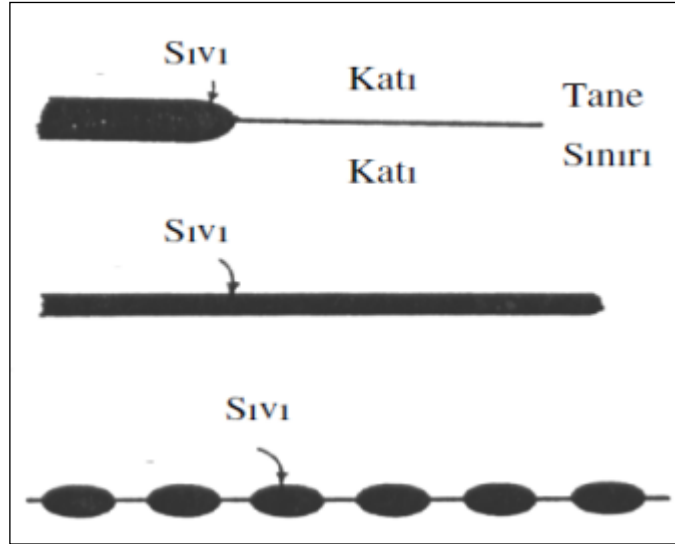
Sıvı faz sinterlemesini etkileyen faktörler:

Sıvı faz sinterlemesinde yüzey enerjisi yoğunlaşma için itici gücü oluşturur. İlk aşama yeniden düzenlenme aşamasıdır. Bu aşamada sıvı oluşur ve katı yapı ıslanır. Yayılma kimyasal reaksiyonlar tarafından desteklenir. Kimyasal reaksiyonların tamamlanması ile yüzey enerjisi artar ve tane sınırı boyunca sıvı, katı üzerinde boyunlu bir yapıya ulaşır. Bu durum **Şekil 5.13**'de gösterilmiştir [9].

Yeniden düzenlenme aşamasında taneler enerjiyi azaltma eğiliminde olduklarından dolayı, ıslatan sıvı ile küçük gözeneklere giderler. Islatan sıvı bu taneleri birbirine çeker. **Şekil 5.13**'de sıvı faz sinterlemesinin ilk aşamasında ıslanma ile taneler arasında kurulan köprüler görülmektedir. Islatan sıvı parçacıklar arasında bağ kuvveti oluşturur [9].



Şekil 5.12 : Sıvı faz sinterlemesinin aşamaları ve farklı sıcaklıklarda yoğunluğun değişimi [9].



Şekil 5.13 : Sıvı faz sinterlemesinde boyunlu yapının oluşması [9].

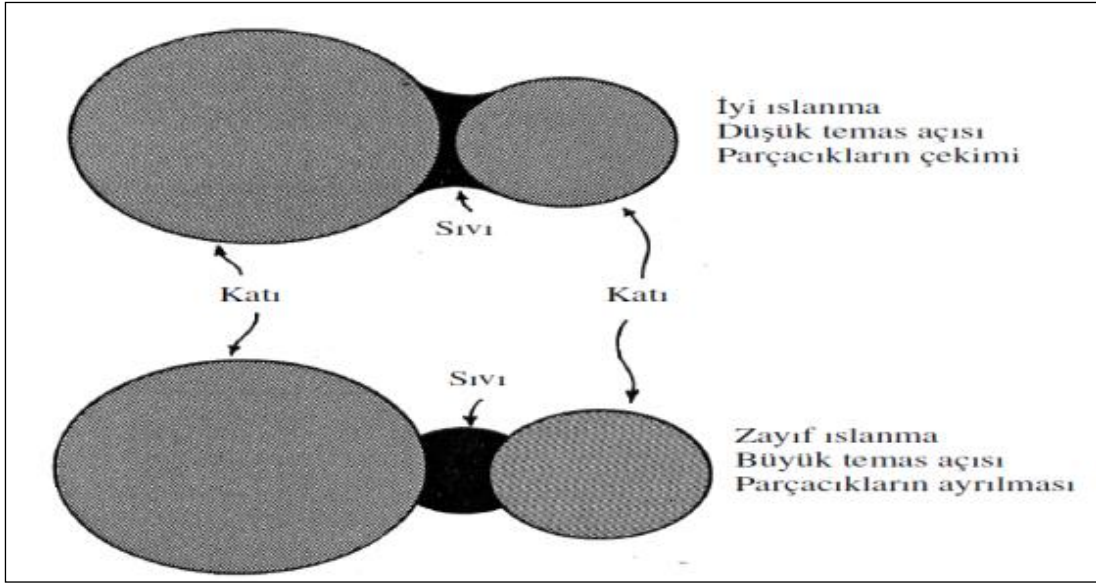
Sıvı faz dar gözeneklerden akmak ister ve kapiler bir etki yaratır. Kapiler enerji yeniden düzenlenme, yoğunlaşma ve yüzey düzleşmesine neden olur. Burada sıvının temas açısı önemli bir rol oynar. Islatan sıvı küçük temas açısına sahipse parçacıkların birbirine yapışmasını sağlar. Temas açısı büyüdükçe parçacıklar birbirinden ayrılır. Bu durum **Şekil 5.14**'de gösterilmiştir. Tamamen ıslatmayan sıvılarda bir köprü ile parçacıklar birbirine bağlanır [9].

Kapiler etkiden dolayı ıslatılmış parçacıkların arasındaki temaslar basınç altındadır. Bu temas basıncı, tane büyüklüğüne, yüzey enerjisine ve temas büyüklüğüne göre değişir. Küçük parçacıklı sıvı faz sinterlemesinde ilk aşamasında bu kuvvet parçaların tekrar düzenlemesine yol açar. Bununla birlikte gözenek boyutu değişir. Büyük gözenekler daha da büyür küçük gözenekler daha da küçülür. İlk başlangıçta yüksek yoğunluğa sahip olan yerler daha fazla yoğunlaşır [9].

Yeniden düzenlenme katı taneler arasında yeni temas alanlarının oluşumuna yol açar. Temas oluşumu tanelerin bir araya toplanmasının bir ön işaretidir. Tane sınırlarının düşük açılı olarak temas oluşturma olasılığı % 0,5 ile % 5 arasındadır. Böyle temaslar için hızlı birleşim olması beklenir [9].

Örneğin katı, oluşan sıvı içinde çözünür veya çözünmeyebilir. Bu farklılık sinterleme hızını ve mikroyapı oluşumunu önemli ölçüde etkiler [9].

Şekil 5.15'de çözünürlük faktörlerinin sinterleme davranışına etkisinin kavramsal özeti gösterilmektedir. Buna göre sıvının katı içerisinde çözünürlüğü düşük ya da yüksek olabilir [9].



Şekil 5.14 : Temas açısının etkisi [9].

Bunun yanında katının sıvı içerisindeki çözünürlüğü de düşük veya yüksek olabilir ve bunlar sinterleme davranışlarını farklı etkilerler. Şekilden anlaşılacağı gibi katıda sıvı çözünürlüğü ve sıvıda katı çözünürlüğü düşük ise yoğunlaşma ve yeniden düzenlenmede sınırlılık gözlenir. Karşıt olarak sıvıda katı çözünürlüğü yüksekken, katıda sıvı çözünürlüğü düşük ise yüksek bir yoğunluğa çıkılabilir. Yani katı çözünürlüğü yoğunlaşmaya yol açar. Sıvı çözelti veya katı çözeltinin fazla olması kütle akış yönünde farklılık yaratır. Katı ve sıvı birbiri içerisinde çözünmüyorsa, yoğunlaşma az olur [9].

Katının sıvı içinde çözünmesi ilk başta tanenin küçülmesine neden olur, bu da katı taneleri birbirinden ayırarak yeniden düzenlenmeye yardım eder. Katıda sıvı çözünürlüğü yüksek ancak, sıvıda katı çözünürlüğü düşük ise malzemede şişme gözlenir, geçici sıvı bu şekilde oluşur. Sıvı katı içerisinde alaşım oluşturur. Sonuç olarak katı çözünürlüğünün küçük olması genişlemeye neden olur. Katı maddelerinin çözeltisi geride gözenek bıraktığından genişleme madde daha homojen yapılarak ya da küçük katkı maddeleri kullanarak azaltılabilir. Katının sıvı içindeki çözünürlüğü azsa katkı maddesi daha etkin hale gelir [9].

Sıvıda katı çözünürlüğü ve katıda sıvı çözünürlüğünün ikisinin de yüksek olması durumunda karışık etki gözlenir. Yani bir yandan malzemede genişleme gözlenirken bir yandan yoğunlaşma olur [9].



Şekil 5.15 : Çözünürlük faktörlerinin sinterleme davranışına etkisi [9].

Özet olarak sıvı faz sinterlemesinde sıvıda katı çözünürlüğü ve katıda sıvı çözünürlüğü olmak üzere iki tür çözünürlük söz konusudur. Katıda sıvı çözünürlüğünün fazla olması, geçici sıvı faza, aşırı duyarlılığa ve ısıtma esnasında kompağın genişlemesine yol açar [9].

Sinterlemede diğer önemli bir faktör de sıvı katı fazlar arasındaki ara yüzey enerjisi (ıslatma ve ıslatmama durumu) ve sıvı fazın katı – katı tane sınırlarına nüfuziyet durumuyla ilgilidir. Bu değişkenler parçacık boyutu, sinterleme sıcaklığı, sinterleme atmosferi ve ham yoğunluk gibi işlem parametreleriyle birlikte oluşacak iç yapıyı önemli ölçüde etkilerler. Bu değişkenlik sıvı faz sinterlemesini hem metal hem de seramikler için esnek bir üretim yöntemi haline getirir [9].

Sıvı oluşumu başlangıçta yüzeyde oluşur ve kapilarite ile yayılır. Yeniden düzenlenme ile yoğunlaşma eriyik oluşumundan hemen sonra oluşur. Daralma kapiler basınç ve sıvı kalınlığı ile doğru parçacık boyutu ve viskozite ile ters orantılıdır Daralma davranışını süreç esnasındaki şartlar ve malzeme özellikleri etkiler. **Çizelge 5.4**'de daralma ve genişleme üzerine etki eden faktörler görülmektedir [9].

5.3. Elmas Kesici Uç Üretimi (Toz Metalurjisi İle)

Bir önceki bölümlerde elmas takımların toz metalurjisi ile üretildiğini ve toz metalurjisinin genel üretim yöntemlerini ve özelliklerini belirtilmiştir. Bu bölümde

ise toz metalurjisi ile üretilen elmas takımların üretiminin ayrıntılı anlatımı bulunmaktadır.

Çizelge 5.4 : Sıvı faz sinterlemesinde daralma ve genişlemeye etki eden faktörler [9].

Faktör	Genişleme	Daralma
Sıvıda katı çözünürlüğü	Düşük	Yüksek
Katıda sıvı çözünürlüğü	Yüksek	Düşük
Yayılma gücü	Eşit değil	Eşit
Katkı maddesi boyu	İri	Küçük
Temel parçacık boyutu	İri	Küçük
Ham yoğunluk	Yüksek	Düşük
Temas açısı	Yüksek	Düşük
Sıcaklık	Düşük	Yüksek
Süre	Kısa	Uzun

Taş kesme uygulamaları için testere ve delici takım soketlerinin üretiminde yaklaşık olarak % 20 dolaylarında endüstriyel elmas kullanılmaktadır. Bu nedenle endüstriyel elmas, Avrupa'da % 61 ile dünya çapında en büyük pazar payına sahiptir [10].

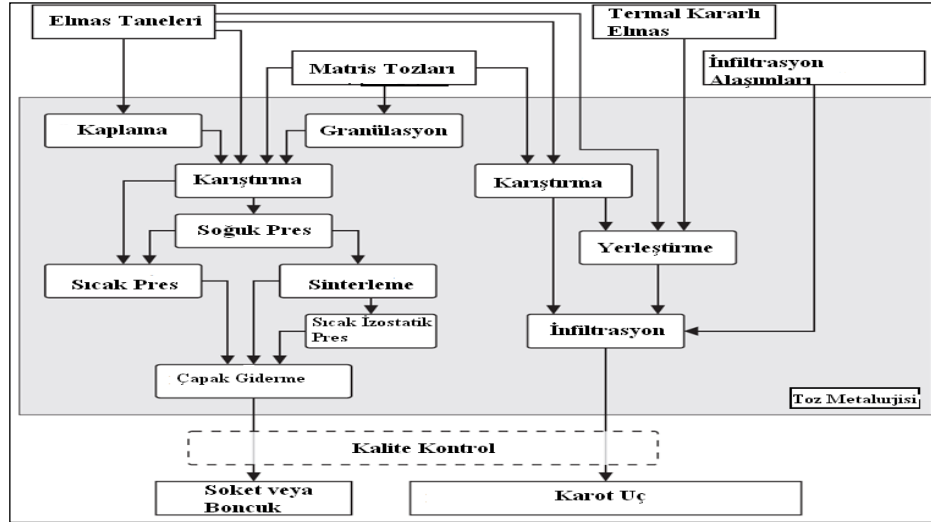
5.3.1 Tozların hazırlanması

Matris tozları önceden belirlenen kompozisyon, tane boyut ve dağılımında karıştırılır. Bağlayıcı olarak parafin ve mono etilen glikol gibi katkı maddelerini %2 oranında katarak segregasyonu engellemek amaçlanır. Ayrıca sıcak ve soğuk pres koşullarında çelik kalıbın aşınmasını ve oksitleri azaltmak için kullanılır [2].

Granulasyon ince metal tozlarına akışkanlık kazandırmak için yapılır. Granülleştirme işlemi için tozlar mum, parafin, glikol gibi organik çözücüler ile karıştırılır. Sinterleme öncesi bu katkılar toz yığınının uzaklaştırılmalıdır aksi takdirde soketlerde istenmeyen kalıntı boşluklar meydana gelir. Mekanik granülasyonda toz mekanik olarak preslenir ve oluşan yapı öğütülür. Termal granülasyonda ise toz karışımı ön sinterlenir, oluşan kek öğütülür. Ayrıca yüksek hızlarda dönen mikserler yardımıyla da karıştırma işlemi yapılır [2, 11, 12].

5.3.2 Matris-elmas karışımının hazırlanması

Karıştırma işleminin nihai ürün özelliklerine etkisi bulunmaktadır. Matris tozları ve elmas tanelerinin homojen olmayan dağılımı socketin aşınmasını kolaylaştırmaktadır. Elmas tanelerini matris içinde homojen olarak dağıtmak zordur.

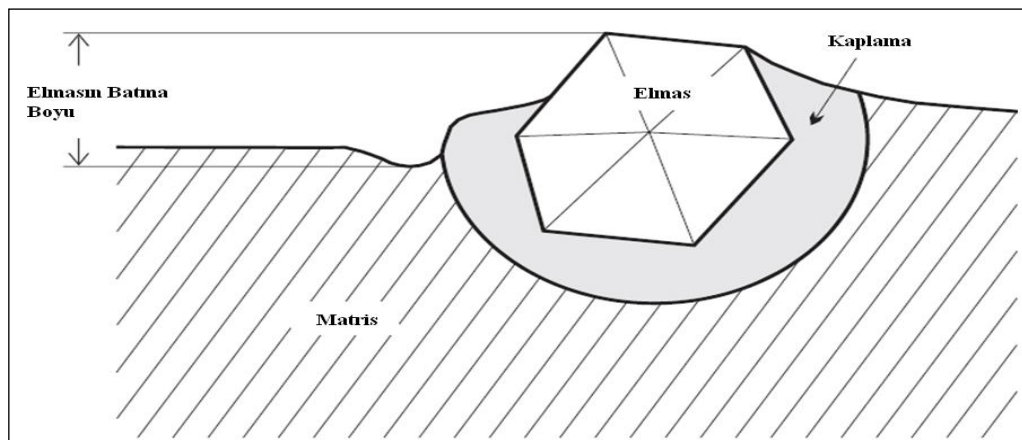


Şekil 5.16 : Toz metalurjisi ile elmas kesici uç üretimi [2].

Uygulanan kaplama işlemi aşınma dayanımını iyileştirirken aynı zamanda Şekil 5.17'deki gibi elmas tanelerinin kesilen kayaç içine batma boyunu da artırmaktadır [2,13,14].

5.3.3 Soğuk presleme

Genelde soğuk presleme çelik kalıplarda orta ve düşük düzeyde basınç uygulayarak çift taraflı yapılmaktadır. Geleneksel preslerde tozlar titreşimli besleyiciler ve doğru elmas-matris karışımını belirleme amaçlı hassas ölçücüler ile takviye edilmektedir.

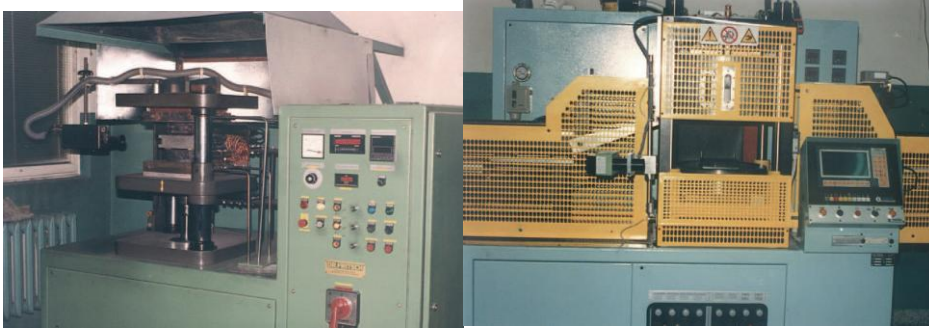


Şekil 5.17 : Uygulanan kaplamanın elmasın batma boyuna olumlu etkisi [2].

Volumetrik dolum hesabına göre çalışan presler küçük segmanların üretiminde daha verimli olduklarından dolayı tercih nedenidir [2,15].

5.3.4 Sıcak presleme

Geleneksel soğuk presleme işlemiyle sıcak presleme karşılaştırıldığında; daha kısa süre (genellikle 2–3 dakika) ve daha düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyar. Ayrıca bu teknikte soğuk presleme işlemine göre, daha yüksek yoğunluklara ulaşılır [16]. Presleme işleminin gerçekleştiği pres makine örnekleri aşağıdaki **Şekil 5.18**'de görülmektedir.



Şekil 5.18 : Presleme makineleri [16].

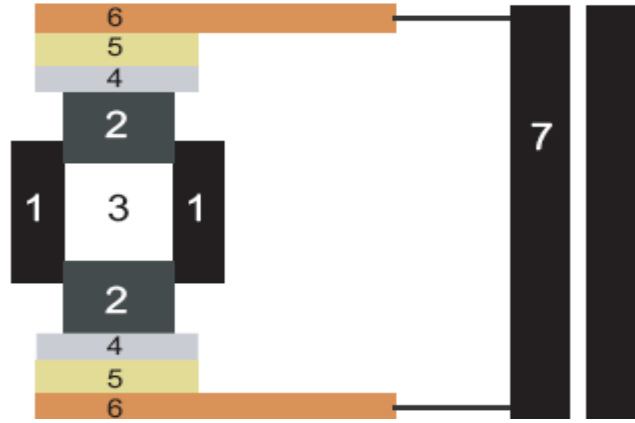
Ticari amaçlı üretilen sentetik elmasların yüksek sıcaklık dayanımlarının yetersizliğine karşı MKT (mermer kesici takımlar) matrisinin mükemmel mekanik özellikleri gereği sıcak presleme tekniğinin elmaslı kesici takımların üretiminde önemli bir kullanım alanı vardır [16].

Sıcak presleme işleminde üç ayrı ısıtma tekniği kullanılmaktadır. Bunlar indüksiyon ile, endirekt dirençli ve doğrudan dirençli ısıtmadır. İndüksiyon ile ısıtma işlemi, yüksek frekanslı akım ile kalıp içerisindeki tozların ısıtılması esasına dayanır. Endirekt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp ısı bölmesine konumlandırılır ve elektrik akımı ile ısıtılan grafit yardımı ile numuneler ısıtılır. Doğrudan dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp direkt elektrik gücü ile ısıtılır. Grafit kalıp ve metal toz parçacıklarının direnci ile ısı kalıba yayılır; bu sebeple doğrudan dirençli ısıtma tekniğinde ısı yayılım hızı çok yüksektir [16]. Şematik görünümü **Şekil 5.19**'da görülmektedir.

Malzemedeki boşluk bırakmamak için sıcaklık ve basıncın eş zamanlı olarak uygulandığı işlemdir. Geleneksel (soğuk presleme/sinterleme) yöntem ile kıyaslandığında, sıcak presleme işlemi uygun sıcaklıklarda basma gerilmeleri altında 2-3 dakika tutularak yapılmaktadır.

Sentetik elmasın dayanımının yüksek sıcaklıklarda düşük olması ve matrisin mekanik özelliklerinin iyi olması istendiğinden sıcak pres teknikleri elmas kesici takım üretiminde yaygınlaşmıştır [2, 12].

Şekil 5.20'de görülen sıcak pres makinesinin şematik görünümünde bulunan 5 nolu yüksek dirençli grafit kalıplardan elektrik akımı geçirerek elmas kesici takım üretimi gerçekleştirilmektedir.

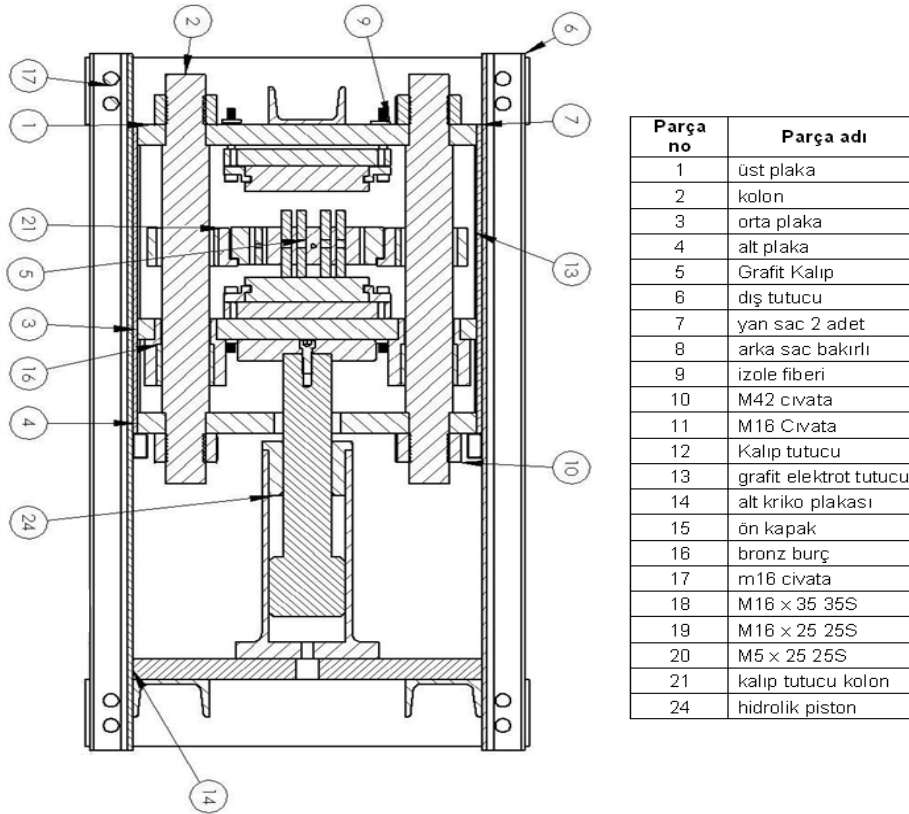


Şekil 5.19 : Doğrudan ısıtma tekniği. 1. Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri, 3. Preslenecek malzeme, 4. Grafit elektrot, 5. Bronz plaka, 6. Bakır elektrot, 7. Güç kaynağı [16].

Makinenin üniteleri; bakır elektrot, grafit elektrot, sıcak pres kalıbı, piston ve tutucu tabladan ibarettir. Bunlara ek olarak, makinede 25 kw'lık trafo, hidrolik pompa, motor sistemi ve PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) sistemi bulunmaktadır [17].

Bu sistem su soğutmalı bakır elektrotlar sayesinde sürekli olarak çalışmaya uygundur. Cihazın trafosu 25 kw gücündedir. Sıcaklık ölçümü için termokupl uygun bir yere entegre edilerek belirtilen sıcaklıklarda ve sürelerde ısıtma gücünün kontrol edilmesi sağlanmıştır. PLC yazılımı sayesinde bilgisayar ekranından manometre, ampermetre, voltmeter ve sıcaklık ile sistemdeki tüm değişkenler görülmekte ve makinenin tüm kontrolü bilgisayardan yapılabilmektedir [17]. **Şekil 5.21**'de sıcak presleme esnasında bilgisayar ile kontrollerin yapılışını görebilmekteyiz.

Sahip olduğu özellikler koruyucu gaz atmosferinde çalışma, basınç ve sıcaklık-zaman kontrolü, üretim parametrelerini ve basamaklarını önceden belirleyebilme, işlem sıcaklığı ve basıncını çalışma süresi boyunca sabit tutabilme, anlık sıcaklığı gösterebilme ve 1200 °C sıcaklığa kadar çıkabilmedir [17].



Şekil 5.20 : Sıcak presleme işleminin şematik gösterimi [17].

Bu yöntem yüksek sıcaklıklarda elmas taneleri ve metal tozlarının oksitlenmesini engellemeye yardımcı olur. Direnç ile ısıtmanın üretilecek parçanın şekil ve boyuna bağlı olarak, sıcaklığın kalıp boyunca homojen dağılmaması gibi bazı sınırlayıcı durumları mevcuttur. Bu yüzden grafit kalıpların konveksiyon ve radyasyon ile ısıtıldığı fırın presler daha çok tercih edilmektedir [2,12].

Modern preslerde koruyucu gaz odaları bulunur ve buralarda kalıplar azot atmosferinde ısıtılır sonucunda ise servis ömrü artırılmış olur [2].

5.3.5 Sinterleme

Sinterleme toz metalurjisinde çok önemli bir yere sahip olmasına rağmen, elmas kesici takım üretiminde bazı kısıtlamalarla karşılaşılmaktadır. Üründen beklenen boyut toleransları, mekanik özellikler ve kompozisyona bağlı olarak üretimdeki uygulama alanları sınırlandırılmıştır. Elmasları sinterleme süresince oksitlenmeden korumak için hidrojen içeren atmosferler sıkça kullanılmaktadır [2].

Sinterleme işlemi özellikle de sinterleme sıcaklığı elmasın tutunma kabiliyetini etkileyen temel parametrelerden biridir. Uygun sıcaklık seçilerek en iyi elmas kesici takım tasarımına ulaşılabilir [2].



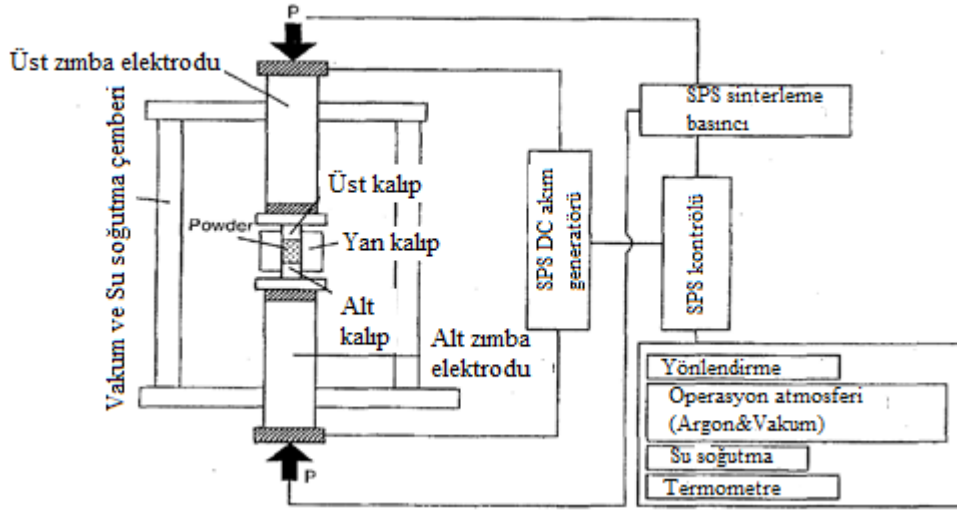
Şekil 5.21 : Sıcak presleme sırasında yapılan kontrollerin izlenimi [16].

Yüksek sinterleme sıcaklıkları, bağlayıcı olarak demir kullanıldığında demir ile elmas arasında kimyasal reaksiyona neden olabilir. Fakat bu olay her zaman gerçekleşmez, özellikle düşük oranlarda Cu-Sn alaşımı kullanılırsa gerçekleşebilir [17].

Geleneksel yöntem, elmas boncuk üretimine geniş çapta uyarlanmış olmasına rağmen soket üretiminde bu kadar yaygın değildir. Maliyet tasarrufu ve yüksek üretim hızı gibi avantajlarının olması, bu işlemin eksiklerini kapatmaktadır [2].

5.3.6 Spark plazma sinterleme

Bu yöntemde mekanik basınç ve elektrik enerjisinin birleştirilmesiyle tozlar istenen yoğunluk ve özelliklere ulaşmaktadır. Düşük sıcaklıklarda kısa süreli olarak gerçekleştirilen spark plazma sinterlemede hava, vakum ve inert atmosfer kullanılarak grafit kalıp yardımıyla daha yoğun malzemeler üretilmektedir. İşlem süresi genellikle saniye ile dakika arasındadır. Kullanılan tozlar çoğunlukla elektriği iletme ile beraber iletken olmayan toz karışımları da kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu elektrik enerjisi tozların içerisinden geçerek düşük basınç altında tozları yoğunlaştırmaktadır. AC ve DC'nin birlikte kullanılması tozların bağlanmasını hızlandırarak homojen parça yoğunluğu sağlamaktadır. **Şekil 5.22'**de gösterilen bu yöntemin diğerlerine göre güvenlik, güvenilirlik, yüksek sinterleme hızı ve sinterleme enerjisinin kontrolü gibi konularda üstünlüğü bulunmaktadır [2, 10, 21].



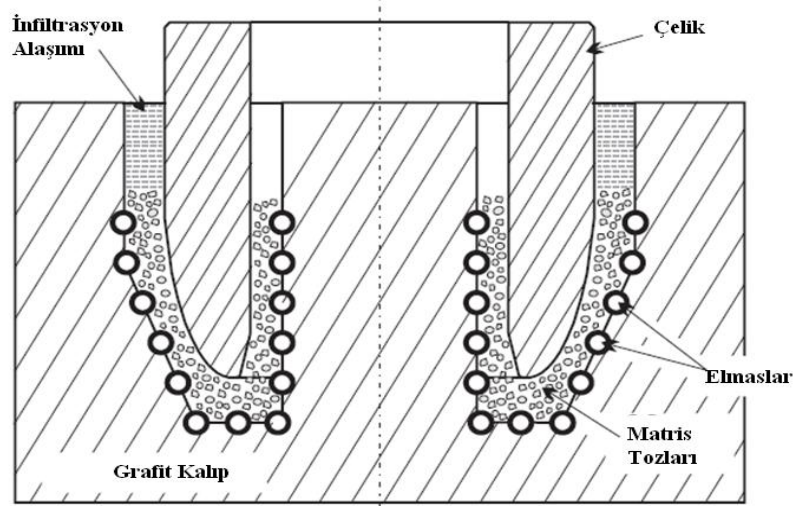
Şekil 5.22 : Spark plazma sinterleme sistemi [21].

5.3.7 Sıcak izostatik presleme

Sıcak izostatik presleme, sıcak inert gaz tarafından her yönden basıncın uygulandığı bir yöntemdir. Ham parçalar ön-sinterleme işlemine tabi tutulduktan sonra sıcak izostatik presleme için uygun hale gelirler. Bu yöntemde 200 MPa basınç değerlerine kadar çıkılmakta ve böylece yoğunlaşma sıcaklığında sıcak presleme yöntemine göre düşüş sağlanabilmektedir. Gözenekleri yok etmek için, sıcak presleme koşullarında 1100 °C'ye çıkılması gereken durumlarda (elmasın bozunma tehlikesi) bu yöntem yeni teknolojik seçenekler sunmaktadır [2,12].

5.3.8 İnfiltrasyon

Metal tozlarına ait birbiriyle bağlı gözeneklerin grafit kalıpta düşük ergime noktasına sahip bir alaşım tarafından doldurulması işlemidir. Şekil 5.23'de kesit görünüşü verilen bu yöntem daha çok elmas katkılı delici ve karot takımların üretiminde kullanılmaktadır. Çinko, nikel, kalay ve mangan içeren kobalt esaslı malzemeler infiltrasyon alaşımı olarak kullanılır. Islatma kabiliyetini artırmak, infiltrasyon sıcaklığını düşürmek ve katı matris bileşenlerinin eriyik içinde çözünmesi azaltmak için düşük oranlarda demir, molibden, silisyum, gümüş, fosfor ve krom eklenebilir. Dolgu için kullanılacak alaşımların ergime noktası ve viskozitesine bağlı olarak bu işlem 950-1200 °C arasında indirgeyici atmosfer ve ya vakum altında yapılmaktadır [2, 16, 17].



Şekil 5. 23 : Kalıbın kesit görünüşü [21].

5.3.9 Lehimleme

Sert lehimleme işlemi lazer kaplama ile beraber endüstriyel olarak önem kazanmaya başlamıştır. Bu teknoloji kesici takım üzerine lehim-elmas karışımının homojen kaplanması esasına dayanır. Bu uygulama için aktif lehim ve nikel bazlı lehimler uygundur. Aktif lehimler, bağlanmanın olması için aktif element olarak titanyum içeren gümüş alaşımlarıdır. Nikel bazlı alaşımlar mekanik olarak güçlüdür, krom ve silisyum eklenerek bağlanma sağlanır. 900-1000 °C arasında gerçekleşen bu işlemin ana avantajları az elmas kullanımı ve elmasın batma derinliğindeki iyileşmedir [2].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

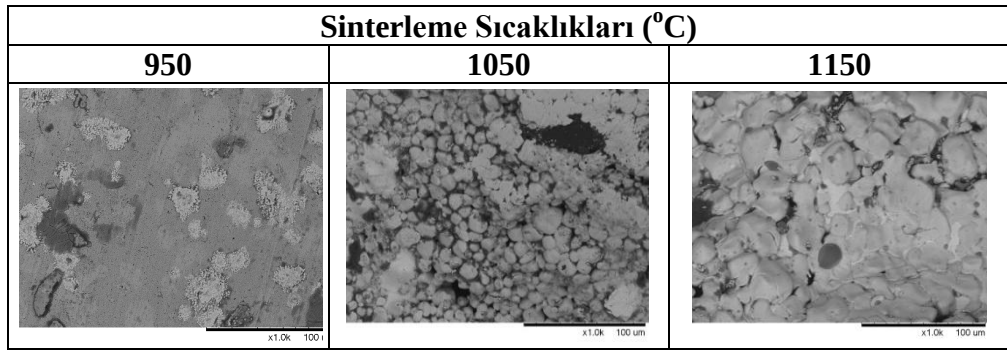
Sırasıyla 2, 2.5, 2.5 μm boyutlarındaki %65 Co- %3 Ni-%32 Bronz alaşımı 2 kg kapasiteli Paslanmaz Çelik kaba konmuştur. Kap x,y,z eksenlerinde 360^0 döndürülerek matrisin homojen şekilde dağılması sağlanmıştır. Daha sonra 30/40 U.S. Mesh büyüklüğünde 10 Konsantrasyon miktarında kaplamasız ve 10 konsantrasyon miktarında Ti kaplı elmas matrise ilave edilmiştir. Daha sonra elmas matrise homojen dağılacak şekilde 3 boyutlu karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karışım 11 mm çapında ve 32 mm uzunluğundaki kalıba dökülmüş ve soğuk preslenmiştir. Elde edilen yaş numunelerin bir kısmı $850^0\text{C}/10\text{ dk}$ 'da SPS (Spark Plazma Sinterleme), diğer kısmı da 60 dk için değişik sıcaklık ($950\text{-}1050\text{-}1150^0\text{C}$) ve 950^0C için farklı sürelerde (60,120,180,240 dk) serbest sinterlenmiştir.

Farklı sinterleme metoduyla üretilmiş numunelerin mekanik, fiziksel, yapısal ve mikroyapısal özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Numunelerin mikroyapısı HITACHI TM-1000 Tabletop SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve Optik Mikroskop ile incelenmiş ve mekanik test olarak sertlik ve basma testi yapılmıştır. Optik Mikroskopta incelemeden önce elmassız numunelere sırasıyla kesme, bakalite alma, zımparalama, parlatma, dağlama işlemleri uygulanmıştır. Dağlayıcı olarak 7,5 ml HF-2,5 ml HNO_3 -200 ml metanol kullanılmıştır. SPS ve CS ile yöntemiyle üretilmiş numunelerdeki değişik fazlar X-ışınları difraktometresi yöntemiyle belirlenmiştir. Sertlik ölçümü Rockwell B skalasında Zwick/Roell ZHR sertlik ölçüm cihazıyla ve basma testi 1 mm/dk hızla Dartec Universal Test Cihazıyla yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü Arşimed prensibiyle Precisa XB 220A cihazıyla yapılmıştır.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

7.1 Sem Görüntüleri

Sırasıyla 950 °C/60 dk, 1050 °C/60 dk, 1150 °C/60 dk, 950 °C/120 dk, 950 °C/180 dk, 950 °C/240 dk larda basınçsız sinterlenmiş numunelerin mikroyapıları **Şekil 7.1** ve **7.2**'de gösterilmiştir. Sıcaklıklar arttıkça porozite miktarında artış gözlenmektedir. Çünkü sıcaklık arttıkça daha fazla bronz sıvılaşır. Sıvılaşan katı tozlar önceki konumlarında porozite bıraktığından porozite artar. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla katı fazda(Co) çözünen sıvı faz miktarı artar ve çözünen sıvı faz yerinde boşluklar bırakır [9]. EDS analizine göre Beyaz faz bronzca, Gri faz Co ca zengin katı eriyik fazlarıdır, Siyahlar ise porozitedir.

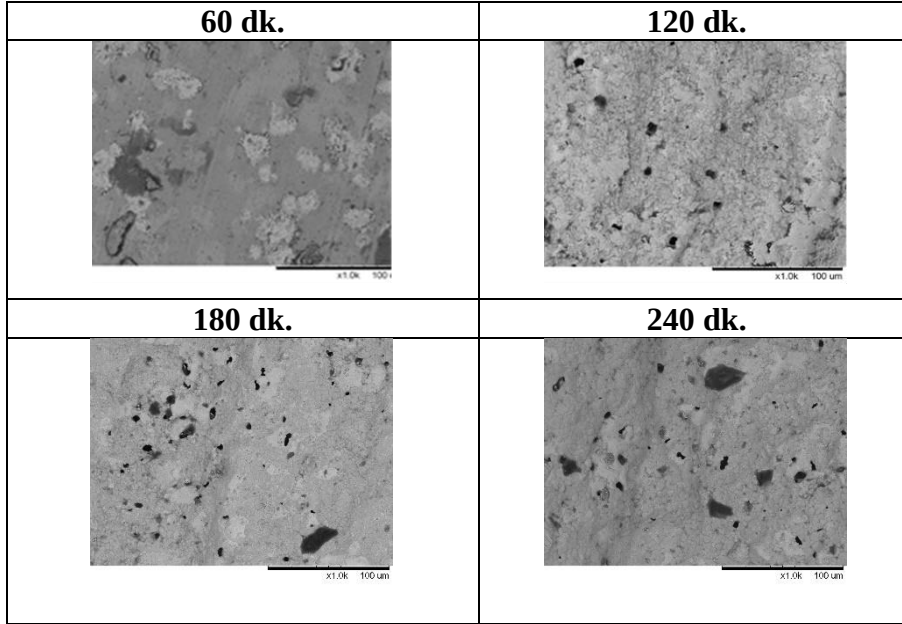


Şekil 7.1 : 1 saatte değişik sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri.

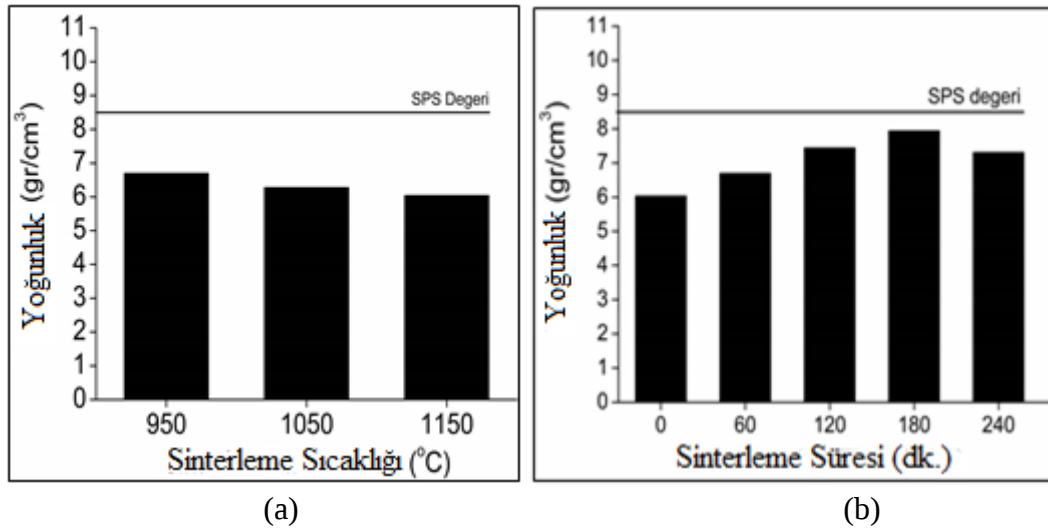
7.2 Yoğunluk Ölçümü Sonuçları

950 °C sıcaklıkta farklı sürelerde sinterlenmiş numunelerin ve 1 saat boyunca farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin yoğunluk grafikleri **Şekil 7.3**'de verilmektedir. En yüksek yoğunluğun 950 °C'de elde edildiği görülmektedir. Çünkü sıcaklık arttıkça sıvı faz miktarının artmasıyla sıvı faz katı faza itme kuvveti uygulanır ve katı taneler birbirinden uzaklaştırır. Ayrıca sıvı fazın her yere eşit dağılmaması çarpımalara ve çatlaklara yol açmaktadır. Bu nedenle sıcaklık arttıkça yoğunluk düşmektedir [9]. Grafiklerden sabit sıcaklıkta 180 dk'a kadar yoğunluğun arttığı görülmektedir. Bunun nedeni sıvı fazın kohezyon kuvvetleriyle katı fazı bağlamasıdır. 240 dk'a gelindiğinde yoğunluğun küçük bir miktar düştüğü gözlenmektedir. Bu duruma tane büyümesi sebep olabilir.

SPS yönteminde basıncında etkisiyle diğer CS (geleneksel sinterleme) ile elde edilen diğer numunelere oldukça yüksek olan 8.43 g/cm^3 yoğunluk elde edilmiştir. CS ile bu değere ulaşmak olanaksızdır.



Şekil 7.2 : 950 °C de farklı sürelerde sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri.

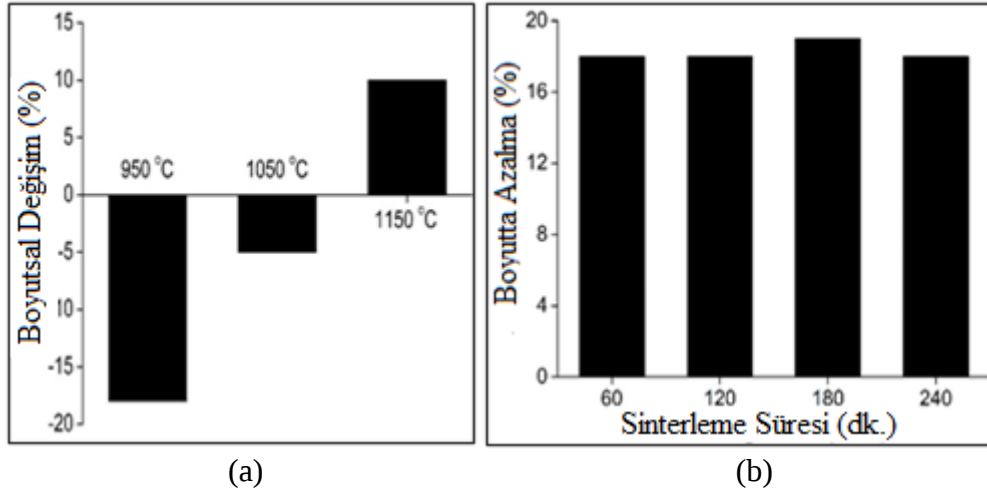


Şekil 7.3 : (a) Yoğunluğun bir saat boyunca sıcaklıkla değişimi, (b) Yoğunluğun 950 °C’de süreyle değişimi.

7.3 Boyut Değişimi

Numunelerin hacimsel değişimleri **Şekil 7.4**’de verilmiştir. 950 °C ve 1050 °C’de boyutlarında azalma görülmektedir. Fakat 1050 °C’de boyuttaki azalma sıvı faz artışından dolayı düşmektedir. Ayrıca 1150 °C’de boyutta artma görülmektedir.

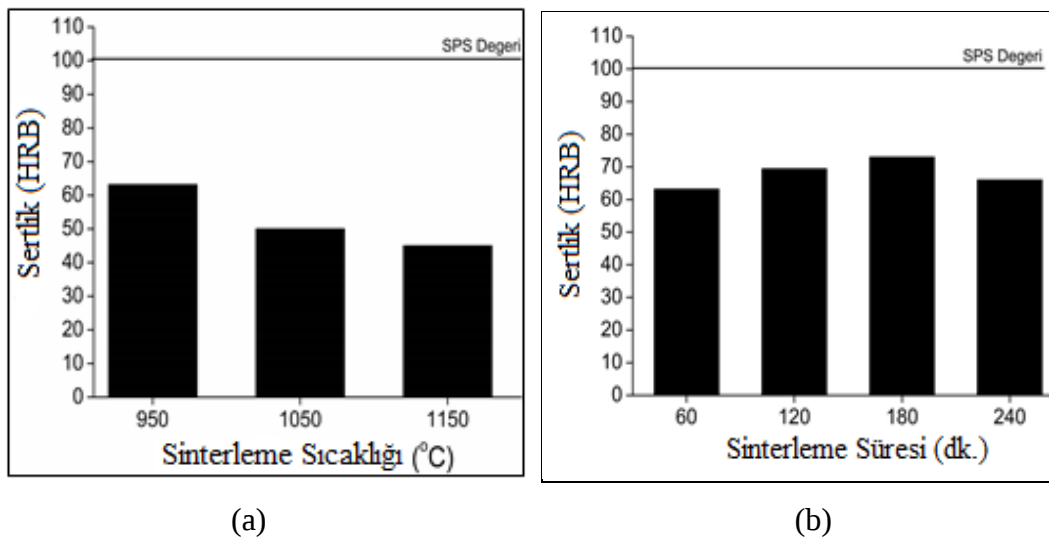
Bunun nedeninin aşırı artan sıvı miktarının poroziteyi artırmış olması muhtemeldir. 950 °C’de farklı sürelerde boyutta çok büyük miktarda değişme görülmemektedir.



Şekil 7.4 : (a) Sinterleme sıcaklığına göre hacimsel değişim, (b) Sinterleme süresine göre hacimde değişim.

7.4 Sertlik Ölçümü Sonuçları

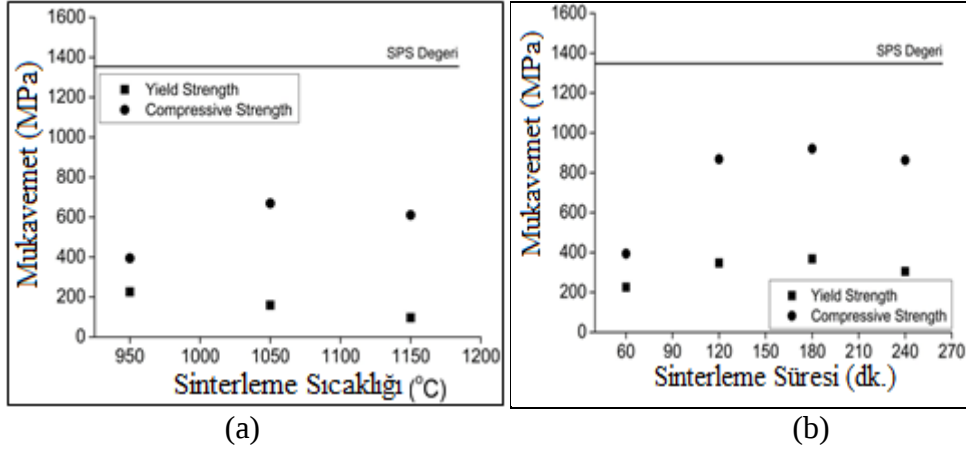
Sinterleme zamanı ve süresine göre Sertlik değişimi **Şekil 7.5**'de gösterilmiştir. Numunenin sertliği artan sıcaklıktan negatif etkilenmiştir ve bu sonuçlar yoğunluk değerleriyle uyumludur. Farklı sinterleme sürelerinde sertlik 180 dk'a kadar artış göstermiştir ancak 240 dk muhtemel tane büyümesi nedeniyle düşmüştür. En yüksek sertlik değeri 950 °C'de 180 dk'da elde edilmiştir fakat 101 HRB olan SPS ile üretilmiş numuneden ciddi oranda düşüktür.



Şekil 7.5 : (a) Farklı sıcaklıklarda 1 saatte sinterlenmiş numunelerin sertlikleri, (b) Sertliğin zamana göre değişimi.

7.5 Basma Testi Sonuçları

Şekil 7.6'dan görüldüğü üzere en yüksek basma mukavemeti 1050 °C'de en yüksek akma mukavemeti 950 °C'de sinterlenmiş numunede görülmektedir. Ancak, basma mukavemeti 950 °C'de süre arttıkça artmaktadır ve 240 dk'da ufak bir azalma görülmüştür. CS en yüksek basma dayanımı 900 MPa da görülmektedir fakat SPS le elde edilen numune göre oldukça düşük bir değerdedir.



Şekil 7.6 : (a) 1 saatte değişik sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin basma dayanımları, (b) 950°C'de farklı sürelerde sinterlenmiş numunelerin basma dayanımları.

7.6 XRD Sonuçları

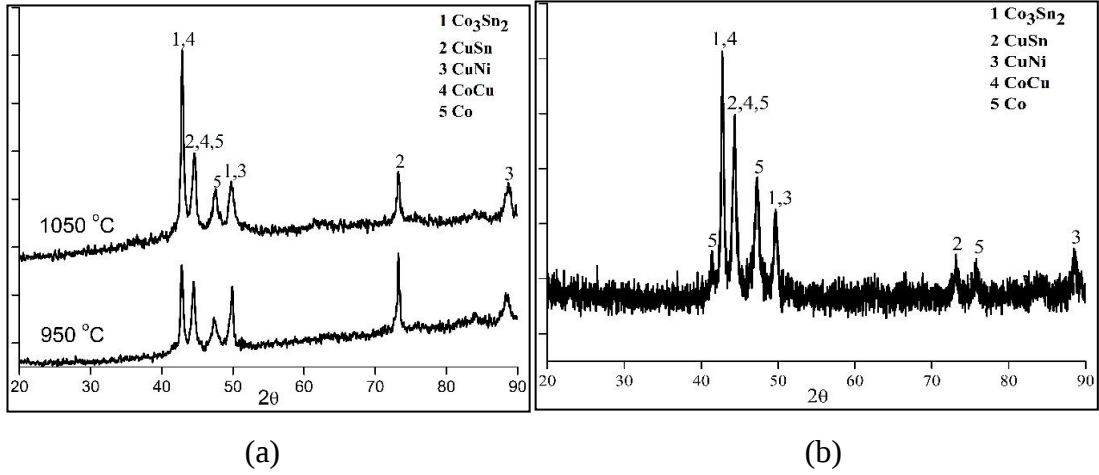
SPS ve CS sinterlenmiş numunelerin XRD analizleri Şekil 7.7'de gösterilmiştir. Farklı yöntemlerle sinterlenmiş numunelerde aynı fazlar görülmektedir. SPS ve CS yönteminde görülen fazlar mevcut elementlerin birbiriyle katı eriyiği (CuSn, CuNi ve CoCu), Co₃Sn₂ intermetalik bileşiği ve saf Kobalttır. XRD paterninde görülen görülen diğer önemli gözlem ise CS yöntemiyle sinterlenmiş numunede saf Co miktarının SPS yöntemiyle sinterlenmiş numuneye göre daha az olmasıdır. Bunun nedenin SPS yönteminde sıcaklığın ve sürenin daha düşük olması tahmin edilmektedir.

7.7 Optik Mikroskop Görüntüleri

Spark Plazma Sinterleme ve Geleneksel yöntemle sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri Şekil 7.8'de görülmektedir. Elmas takımlarda elmasın mevcudiyeti mikroyapı incelemelerinde parlatma işlemini zorlaştırdığından Şekil 7.8'deki elmassız numuneler hazırlanarak optik mikroskopta incelenmiştir.

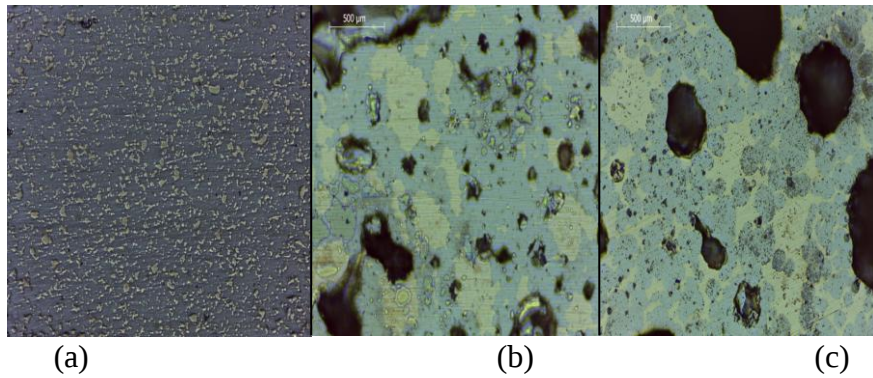
Şekil 7.8a'da SPS yöntemiyle sinterlenmiş numunenin mikroyapısında iki farklı renkte faz mevcudiyeti tespit edilmiştir. Koyu renkli matris fazın Co'ca zengin açık renkli fazın ise bronzca zengin katı eriyik fazları olduğu Taramalı Elektron Mikroskopunda EDS analizleriyle belirlenmiştir.

Şekil 7.8b ve **7.8c**'de sırasıyla 950 ve 1050 °C de Geleneksel yöntemle sinterlenmiş numunelerin mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 7.7 : (a) SPS ve (b) Geleneksel sinterlenmiş numunelerin XRD analizleri.

Bu mikroyapılarda yapılan EDS analizleriyle siyah bölgelerin porozite, mavi bölgelerin Co'ca zengin katı eriyik fazı, sarı renkli bölgelerin ise bronzca zengin katı eriyik fazı olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla bronzca zengin katı eriyik fazı artmış ve matriste daha homojen dağılmıştır, ayrıca Bronzca zengin katı eriyik fazı Co'ca zengin katı eriyik fazı içerisinde çözünerek ilk bulundukları konumda boşluk bırakmışlardır. Bu yüzden sıcaklık arttıkça porozite miktarı artmıştır. 850 °C de 10 dk da sinterlenmiş numune SPS yöntemiyle sinterlendiğinden porozite miktarı geleneksel yöntemle sinterlenen numunelere kıyasla daha azdır.



Şekil 7.8 : (a) SPS yöntemiyle, (b) 950 °C/1 saat ve (c) 1050 °C/1 saatte sinterlenmiş numunenin optik mikroskop görüntüleri.

8. GENEL DEĞERLENDİRMELER

- SPS yönteminin her yönüyle en iyi yöntem olduğu görülmüştür.
- CS ile üretilmiş numunelerden en iyi özellikler 950 °C/180 dk'dadır.
- Bir saatlik sürede sinterleme sıcaklığı arttıkça mekanik ve fiziksel özelliklerde azalma görülmektedir.
- 950 °C'de süre arttıkça mekanik ve fiziksel özelliklerde artma görülmektedir. Fakat 180 dk dan sonra özelliklerde azalma görülmektedir.
- CS ve SPS yönteminde aynı fazlar görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kulaksız, S.** (2007). Doğaltaş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, No: 126, 624.
- [2] **Konsanty, J.** (2005). Powder Metallurgy Diamond Tools. First Edition, Amsterdam, Elsevier.
- [3] **Tönshoff, H. K., Hilmann-Apmann, H.** (2002). Diamond tools for wire sawing metal components. *Diamond and Related Materials*, 11, 742–748.
- [4] **Büyüksağış, İ. S.** (t.y.). Doğaltaş kesmede kullanılan elmaslı dairesel testerelerin tanıtımı ve talaş oluşum mekanizması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1-2), 17-30.
- [5] **Oliveira, L. J., Cabral, S. C., Filguera, M.** (2000). Study hot pressed Fe-diamond composites graphitization. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 35, 228-234.
- [6] **Spriano, S., Chen, Q., Settineri, L., Bugliosi, S.** (2005). Low content and free cobalt matrices for diamond tools. *Wear* 259, 1190-1196.
- [7] **Hsieh, Y. Z., Lin, S. T.** (2001). Diamond tool bits with iron alloys as the binding matrices, *Materials Chemistry and Physics*, 72, 121– 125.
- [8] **Arslan, F., Öztürk, S.** (t.y.). Toz Metalurjisi Deneyi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuar Föyü.
- [9] **Erdal, L.** (2006). Baryum hegza ferritin sıvı faz sinterlemesi ve mikroyapı incelemeleri (yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi.
- [10] **German, R.M.** (1996). Powder Metallurgy of Iron and Steel, MPIF, Princeton, NJ.
- [11] **Çelik, E., Kaplan, M., İnci, S.** (2011). Fe–Cu–Co–Sn Matrisli Elmaslı Kesici Takımlara Ti ilavesinin Etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May, Elazığ, Turkey.
- [12] **Handbook Volume 7.** (t.y.). Powder Metal Technologies and Applications. ASM International, USA.
- [13] **Sung, C. M.** (1999). Brazed diamond grid: a revolutionary design for diamond saws. *Diamond and Related Materials*, 8, 1540-1543.
- [14] **Webb, S. W.** (1999). Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling. *Diamond and Related Materials*, 8, 2043-2052.
- [15] **Upadhyaya, G. S.** (2002). Powder Metallurgy Technology. Cambridge International Science Publishing.

- [16] **Karagöz, S., Zeren, M.** (1998). Characterisation of Hot Pressing Behaviour of Diamond Cutting Tools, *Int. PM Conf.*, Granada-İspanya, 4, 208-212.
- [17] **Çelik, E.** (2009). Elmaslı Kesici Takımlarda Alternatif Bağlayıcılar, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [18] **Xu, X. and Yu, Y.** (2005). Sawing performance of diamond with alloy coatings. *Surface and Coatings Technology*, 198, 459-463.
- [19] **Kaplan, M., Budak, S.** (2011). Bir Mermer Kesici Takımında Co Katkısının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May, Elazığ, Turkey.
- [20] **Tokita, M.** (t.y.). Mechanism of spark plasma sintering. Sumitomo Coal Mining Company Ltd., Kanagawa, Japan.
- [21] **Şahin, Y.** (2003). Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 1, Gazi Kitapevi

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ekin Selvi
Doğum Yeri ve Tarihi: Balıkesir/30.07.1988
E-Posta: ekinselvi1988@yahoo.com
Lisans: İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Mesleki Deneyim ve Ödüller: İTÜ Demir-Çelik Karakterizasyon Laboratuvarı
Stajyer (2009)
Quantum Takım Sanayi Stajyer (2010)
İTÜ Demir-Çelik Karakterizasyon Laboratuvarı
Stajyer (2010)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Selvi E.**, Topaloğlu F., Kayalı, E. S., Tazegül O., 2013: Conventional Sintering of Diamond Tools Used in Natural Stone Cutting and Characterization. *3rd International Advances In Applied Physics and Material Science Congress*, April 24-28, 2013 Antalya, Turkey.